SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E SETTORE DELLE COSTRUZIONI

SEZ 1

Il tema della sostenibilità ambientale, con l'ormai tradizionale ritardo tipico del settore, è entrato in maniera forte e integrale nell'ambito edilizio, veicolato da due motivi fondamentali: da un lato il fatto che il settore edilizio risulta essere il principale artefice di impatti sull'ambiente e dall'altro il fatto che l'uomo abita gli edifici e in questi pretende di trovare un luogo confortevole e salubre.
La sostenibilità ambientale nel settore edilizio investe infatti due scale: la scala dei rapporti tra l'edificio e l'ambiente e la scala dei rapporti tra l'edificio e i suoi abitanti.
Da un lato edificare genera impatti sull'ambiente non solo all'atto della costruzione, ma anche lungo tutto il processo, dall'approvvigionamento delle materie prime, produzione e trasporto fino alla dismissione dell'edificio e smaltimento delle macerie da demolizione.
Dall'altro l'uso dell'edificio genera impatti per poter garantire condizioni di comfort e benessere interno, interagendo dunque con le esigenze degli abitanti e garantendo loro un ambiente vivibile e adeguato alle attività che negli edifici si svolgono.
Il settore delle costruzioni è uno dei principali protagonisti della questione ambientale, a causa dello sfruttamento di risorse materiali non rinnovabili, dell'uso del territorio, del consumo energetico relativo a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto edilizio e della produzione di rifiuti da demolizione.
Dunque costruire incide notevolmente sulla creazione di impatti ambientali, che si manifestano sia come consumo di risorse sia come inquinamento dell'ambiente.
Nel 2000 è stato stimato che il 45% dell'energia prodotta in Europa viene utilizzata nel settore edilizio; il 50% dell'inquinamento atmosferico in Europa è prodotto dal settore edilizio; il 50% delle risorse sottratte alla natura sono destinate all'industria edilizia; il 50% dei rifiuti prodotti annualmente in Europa proviene dal settore edilizio.

Nel settore edilizio il fattore che genera maggiori impatti è costituito dai consumi energetici. L'ENEA ha calcolato che per l'industria dal 1970 si registra un aumento di 5 milioni di tep (tonnellate equivalenti di petrolio), per il terziario/residenziale l'aumento è di 15 milioni di tep, pari ad una crescita superiore al 60% in trent'anni. Nel 2000 il consumo energetico in Italia, espresso in tep, è stato di circa 134 milioni di tep, di cui 40 milioni di tep sono stati consumati rispettivamente dall'industria, dal terziario/residenziale e dai trasporti. Un aumento dissennato, tenendo conto, oltrettutto, che l'Italia è debitrice dall'estero di oltre il 90% dei suoi consumi energetici (Bianchi, 2003).

Questo quadro richiede un cambiamento di direzione.

Esiste un dato inquientante relativamente alla dimensione del cambiamento per raggiungere le condizioni di sostenibilità. Alcuni studiosi (Lovins e Lovins, Von Weiszäcker, 1998) hanno parlato di "fattore 4", ossia della necessità di quadruplicare l'ecoefficienza raddoppiando il benessere e dimezzando le risorse impiegate, ma occorrerebbe addirittura parlare di "fattore 10" (Manzini, Vezzoli, 1998). Infatti, visto l'incremento demografico e la crescita della domanda di benessere dei paesi in via di sviluppo, è stato stimato che l'eco-efficienza delle tecnologie, dovrebbe aumentare di 10 volte, ossia dovremmo vivere con solo il 10% delle risorse che attualmente utilizziamo (Fregolent, Indovina, 2002). Quindi una soluzione sostenibile dovrebbe essere una soluzione che implichi un consumo di risorse ambientali che sia del 90% inferiore a quello richiesto dalle soluzioni attuali. Esistono già esempi di raggiungimento di questo obiettivo nel settore edilizio.

Alcuni primi risultati si stanno affacciando: nell'ultimo decennio le emissioni specifiche di CO_2 da usi energetici sono diminuite del 10% in Europa (passando da 2,2 t CO_2/tep nel 1990 a 2 t CO_2/tep nel 2000), nonostante si sia registrato un incremento dei consumi energetici di circa il 10%. È la maggiore efficienza energetica ad aver consentito di ridurre le emissioni specifiche di CO_2, cioè la quantità di CO_2 emessa per ogni unità di energia utilizzata (Bianchi, 2003).

Ma la strada da percorrere è ancora lunga.

L'energia deriva quasi esclusivamente (al 90%) dalla combustione dei combustibili fossili, formatisi nel corso delle ere geologiche.
I processi di combustione generano COx, NOx, SOx, HC, CFC, Piombo, Mercurio, che, insieme ad altri gas e sostanze sottoprodotti delle attività antropiche, sono causa di una serie di alterazioni ambientali, primo fra tutti l'effetto serra.

Il concetto di "sviluppo sostenibile" viene utilizzato per la prima volta all'interno del **Rapporto Brundtland** dal titolo "Il futuro di noi tutti" (*Our Common Future*), redatto nel 1987 dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (World Commission on Environment and Development), nota come Commissione Brundtland (dal nome della sua presidente norvegese, Gro Harlem Brundtland), che aveva indagato la situazione ambientale su scala planetaria dal 1983 al 1987.
Tale interesse era nato a seguito della constatazione dei cambiamenti che si stavano verificando in atmosfera, in acqua, sul suolo, su piante e animali, e in generale nella natura, a causa dell'interferenza ed espansione delle attività umane a seguito della rivoluzione industriale.
Nel Rapporto vengono messi in evidenza i problemi e le "**sfide collettive**": la crescita demografica, l'approvvigionamento alimentare, la tutela della diversità delle specie, l'esaurimento delle fonti energetiche, gli impatti dello sviluppo industriale, la crescita urbana. La risposta a tutti questi problemi viene indicata nel cosiddetto "sviluppo sostenibile": con questo termine si intende la volontà di garantire lo sviluppo della società e il benessere delle persone ponendo come 'limite' la capacità dell'ambiente di sostenere tale sviluppo. Non si tratta dunque di un approccio che condanna l'attuale condizione industriale: molti bisogni umani primari possono infatti essere soddisfatti solo da beni e servizi forniti dall'industria e il benessere delle persone deve essere comunque obiettivo primario.
Semplicemente si sottolinea come l'attuale modello di sviluppo sia completamente avulso da quantificazioni sui consumi generati e inquinamento prodotti, mentre l'ambiente sta dimostrando di non essere in grado di fornire risorse e assorbire i rifiuti al ritmo di produzione e consumo attuale.

Due parole chiave permeano il Rapporto Brundtland: globalità e sostenibilità. **Globalità** fa riferimento al fatto che il problema ambientale deve essere affrontato in maniera intersettoriale, internazionale e intergenerazionale: ambiente e svi-

luppo infatti non sono due “settori” differenti, ma costituiscono un fenomeno globale unico. Inoltre i problemi ambientali travalicano i ‘confini’: l’inquinamento, le piogge acide, la distruzione della fascia d’ozono, l’effetto serra vanno oltre i confini dei singoli stati. Molti fattori di inquinamento non rimangono contenuti nell’ambito di chi li provoca: per esempio metà dell’anidride solforosa delle città olandesi proviene, a causa dei venti, dalla Ruhr e dal Regno Unito (Diappi, 2000). **Sostenibilità** fa riferimento alla “capacità di carico” dell’ambiente (*carrying capacity*), ossia alla capacità da parte dell’ambiente di fornire risorse e di assorbire i rifiuti prodotti dall’attività umana. Il nostro ecosistema non regge più gli attuali ritmi di uso e consumo. Sviluppo sostenibile significa allora modificare i modelli di produzione e consumo, promuovere l’ecoefficienza, rinunciare allo sfruttamento di risorse non-rinnovabili, eliminare gli inquinanti, valorizzare i rifiuti attraverso il riutilizzo, arrestare l’erosione della biodiversità, fermare la desertificazione.

Il tema della sostenibilità investe dunque diverse scale: la scala del territorio, la scala urbana, la scala dell’edificio, la scala del componente edilizio. Proprio per la sua **multiscalarità** e multidisciplinarità, il tema della sostenibilità richiede diversi criteri di giudizio e di raccolta delle informazioni a supporto delle decisioni, rendendo difficile l’identificazione di un metodo univoco che guidi nelle scelte: vengono per questo preferiti approcci di valutazione multicriteri, che permettono una decisione aperta e partecipata, spesso politica.

Gli anni Novanta sono stati il periodo in cui si è seriamente cominciato a occuparsi dell’ambiente.
Il concetto di “sviluppo sostenibile”, introdotto dal Rapporto Brundtland, viene ripreso in occasione della Conferenza mondiale dell’ambiente e dello sviluppo (*United Nations Conference on Environment and Development*), denominato “**Vertice della terra**” (*Earth Summit*), tenutosi a Rio De Janeiro nel giugno 1992, dove le nazioni partecipanti, oltre alla trattazione dei grandi problemi ambientali, quali la desertificazione, il cambiamento climatico del globo e la biodiversità, sottoscrissero in convenzione un “Piano di azione per la realizzazione dello sviluppo sostenibile proiettato nel XXI secolo”, chiamato **Agenda 21** (http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm).

Mentre gli "Earth Summits" (di cui l’ultimo è quello di Johannesburg del 2002), si occupano dei problemi ambientali a livello complessivo, una attenzione particolare viene destinata al problema dell’effetto serra, che sta alterando il comportamento climatico del nostro pianeta, producendo effetti visibili: Il buco nell’ozono,

le piogge acide, la perdita di biodiversità e di specie animali e vegetali, il ritiro dei ghiacciai, la desertificazione sono alcuni degli effetti che ciascuno di noi può verificare.
Poiché la causa diretta dei cambiamenti climatici sono le emissioni rilasciate dal consumo di fonti energetiche non rinnovabili, sta crescendo nelle varie nazioni la pressione per ridurre il consumo di carbone e gasolio, mentre crescono gli incentivi per l'adozione di tecnologie alternative.
Per contrastare e ridurre gli effetti negativi della produzione di gas serra è stata adottata a livello internazionale la **Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici** (**UNFCCC**_ *United Nations Framework Convention on Climate Change*; http://unfccc.int/), sottoscritta a New York il 9 maggio 1992 da 154 paesi.
La presenza di gas serra nell'atmosfera si è raddoppiata nell'ultimo secolo e rischia di triplicarsi nei prossimi cent'anni.
Gli effetti immediati riscontrabili a seguito dell'aumento dell'effetto serra sono l'in-

conferenze sul clima

(fonte: http://www.cop9.it/cop9/storia.html)

Nel **1979** si svolge la **prima Conferenza mondiale sul clima** in cui si comincia a comprendere che il problema dei cambiamenti climatici investe una scala globale e non è affrontabile nell'ambito delle singole politiche nazionali. I Governi di tutto il mondo sono invitati dalle Nazioni Unite a ridurre le cause all'origine dei cambiamenti climatici. Si approva, inoltre, un Programma mondiale di ricerca sul clima (WCRP), sostenuto dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP), dall'organizzazione metereologica mondiale (WMO) e dal Consiglio internazionale delle società scientifiche (ICSU).

Nel **1988**, il WMO e l'UNEP costituiscono un Gruppo intergovernativo sull'evoluzione del clima (**Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC**; http://www.ipcc.ch) con il compito di valutare lo stato delle conoscenze scientifiche, tecniche e socioeconomiche sulle cause e le conseguenze di un cambiamento climatico globale.

Nel **1990**, è pubblicato il primo Rapporto di valutazione dell'IPCC che rappresenta un bilancio delle conoscenze sui sistemi climatici, sulle ricadute sull'ambiente, l'economia e la società.

L'Assemblea generale delle Nazioni Unite approva l'avvio di un negoziato per la stesura di un trattato internazionale. Viene organizzata la seconda Conferenza mondiale sul clima, alla quale partecipano 137 Stati e l'Unione Europea, che sancisce l'apertura dei negoziati per l'elaborazione di una Convenzione per la protezione del clima. Tale Conferenza approva la dichiarazione finale che fissa i principi della Convenzione sul clima e, quindi, le idee che guideranno tutti i Vertici Mondiali degli anni successivi. Tali principi individuano la responsabilità comune ma distinta delle Parti, rappresentate sia da Paesi industrializzati che da Paesi in via di sviluppo, e si basano sulla valutazione delle emissioni di gas a effetto serra che tengano conto dei processi di sviluppo sostenibile e dei processi di prevenzione.

Nel **1992** durante la **Conferenza Mondiale sull'Ambiente di Rio de Janeiro**, finalmente gli Stati firmano la "Convenzione sui Cambiamenti Climatici" che, dopo essere stata ratificata da 50 Stati, entrò in vigore nel 1994.

Nel **1995**, è organizzata a Berlino la **prima Conferenza delle Parti** (**COP-1**), che diventa l'Autorità per la Convenzione.

Sono indetti colloqui su nuovi obblighi e si stabiliscono nuovi obiettivi per la limitazione e la riduzione delle emissioni entro determinati periodi temporali (2005,2010, 2015). Per i Paesi in via di sviluppo, non sono invece previsti nuovi obblighi.

L'anno successivo, a **Ginevra**, durante la **COP-2**, i rappresentanti dei Governi sottolineano l'importanza di un Protocollo aggiuntivo che stabilisca degli obiettivi quantitativi vincolanti.

Nel dicembre del **1997** a **Kyoto**, si svolge la **COP-3**, il summit forse più famoso e seguito dai mass-media e dall'opinione pubblica mondiale: più di 10.000 rappresentanti fra governi, economisti, scienziati, osservatori, giornalisti e membri di organizzazioni non governative partecipano a questa Conferenza che si conclude l'11 dicembre con l'approvazione del **Protocollo di Kyoto**.

Il Protocollo è la base per una politica di riduzione delle emissioni vincolata a livello internazionale che obblighi i Paesi industrializzati a ridurre le proprie emissioni di gas a effetto serra nel periodo 2008-2012 mediamente del 5,2% rispetto ai livelli raggiunti nel 1990.
Ogni successiva edizione della Conferenza delle Parti, ruota intorno al Protocollo e alla definizione applicativa dei meccanismi posti in essere, con l'obiettivo di avviarne la ratifica e quindi l'entrata in vigore.
Un momento significativo è l'approvazione durante la **COP-4** nella capitale argentina, del **Buenos Aires** Plan of Action, il piano d'azione per rendere concrete le misure previste da adottare.
A **Bonn**, nel **1999**, dove ha luogo la **COP-5**, si preme per l'attuazione del Protocollo entro l'anno 2000 in modo che, esattamente dopo dieci anni dal vertice di Rio, possa entrare in vigore, nel 2002.
La **conferenza dell'Aja**, del **2000**, la **COP-6**, vede le posizioni degli Stati Uniti e degli Stati Europei nettamente contrapposte. Gli Stati Uniti auspicano una massima liberalizzazione nell'uso dei meccanismi di flessibilità al fine di massimizzare il contenimento dei costi della riduzione di gas serra e dell'incremento degli assorbimenti di carbonio attraverso i *sinks* (pozzi di assorbimento di CO_2 che di fatto sono i polmoni verdi del pianeta come foreste, suoli agricoli) mentre gli Stati Europei propongono un ricorso alle misure interne per realizzare almeno il 50% della riduzione prevista. Proprio su questo le trattative stagnano e non si raggiunge nessun accordo, anzi, qualche mese dopo, gli Stati Uniti, maggiori responsabili delle emissioni di gas effetto serra, dichiarano di non voler ratificare il protocollo di Kyoto, nonostante ci sia la volontà di accordo sul miglioramento dell'efficienza energetica e la promozione della ricerca sulle tecnologie rinnovabili.
In occasione della **COP-6** straordinaria di **Bonn**, nel giugno **2001**, e nonostante la defezione degli Stati Uniti, sono confermati da parte di tutti i Paesi Industrializzati coinvolti, gli impegni di ordine quantitativo per la riduzione delle emissioni nocive.
Nel novembre **2001**, durante la **COP-7** a **Marrakesh**, si raggiunge un accordo per la liberalizzazione del ricorso a strumenti flessibili e sono definiti altri aspetti essenziali al funzionamento del Protocollo stesso.
La **COP-8** di **Nuova Delhi** segna l'avvio operativo del **Clean Development Mechanism** (CDM), uno dei meccanismi flessibili previsti dal Protocollo. Tale strumento consente ai Paesi industrializzati di rispettare il proprio obiettivo di riduzione nazionale ricorrendo a iniziative di riduzione delle emissioni in cooperazione con Paesi in via di sviluppo, consentendo dunque alle imprese dei Paesi sviluppati di ottenere crediti di emissione.
Nel dicembre **2003**, a **Milano** si è tenuta la **COP-9**. Si sperava in questa occasione che la Russia ratificasse il Protocollo di Kyoto, ma non è avvenuto.
Nel dicembre **2004** si è tenuta a **Buenos Aires** la **COP-10**, in cui finalmente la Russia ha ratificato il Protocollo di Kyoto. Si è discusso degli aspetti pratici dell'attuazione del protocollo in vista della sua entrata in vigore, il 16 febbraio 2005.

(fonte: http://www.cop9.it/cop9/storia.html)

effetto serra e cambiamenti climatici

La Terra riceve energia dal Sole e scambia energia con lo spazio. L'energia solare arriva sotto forma di radiazioni 'a onde corte': molte di queste radiazioni vengono riflesse dall'atmosfera ma una buona parte la attraversa e riscalda la superficie terrestre, la quale riflette tali radiazioni sotto forma di radiazioni 'a onde lunghe' o infrarosse. La maggior parte di queste radiazioni viene assorbita dall'atmosfera terrestre, grazie alla presenza di gas serra, come vapore acqueo, biossido di carbonio e altri gas serra. Questi gas trattengono le radiazioni e il calore, consentendo di generare un clima adatto alla vita. Ma l'incremento dei gas serra aumenta la capacità da parte dell'atmosfera di assorbire i raggi infrarossi, alterando l'equilibrio di incameramento e cessione del calore e provocando il surriscaldamento del globo e, di conseguenza, i cambiamenti climatici.
Gas serra come biossido di carbonio (CO_2), metano (CH_4) e ossido d'azoto (N_2O), oltre al vapore acqueo, in genere costituiscono l'1% dell'atmosfera, che è formata prevalentemente da ossigeno (21%) e azoto (78%). Questi ultimi sono gas essenziali per costituire uno scudo protettivo rispetto ai raggi solari, senza i quali la superficie della terra sarebbe di 30°C più calda. Il problema è che le attività umane stanno rendendo questa 'calotta' protettiva sempre più sottile. La combustione di carbone, gasolio e metano determina la produzione di una notevole quantità di biossido di carbonio nell'aria. E quando distruggiamo le foreste eliminiamo uno dei più grandi assorbitori di biossido di carbonio.

nalzamento della temperatura della superficie terrestre e l'aumento di fenomeni atmosferici calamitosi e di violenta intensità.
Il risultato è quello che viene definito "surriscaldamento globale" (*global warming*) di 1,5-4,5°C nei prossimi 100 anni. Le conseguenze potrebbero essere cambiamenti nell'andamento dei venti e delle pioggie, l'aumento di eventi calamitosi e l'innalzamento dei mari. Questi eventi potrebbero provocare desertificazioni, alluvioni e catastrofi, andando a coinvolgere la popolazione soprattutto in territori già disagiati, determinando migrazioni, fame e povertà.
I paesi industrializzati hanno riconosciuto che esiste questo problema. Ma non è semplice per le maggiori nazioni del mondo accordarsi su quali siano le azioni da intraprendere per porre rimedio.
Per questo la Convenzione è un importante risultato, poiché è stata sottoscritta da 154 nazioni nel 1992 e ratificata da altre 100 nei successivi due anni, entrando in vigore nel 1994.
Il primo e finora unico strumento attuativo della Convenzione è il Protocollo di Kyoto, convenuto nel corso della terza Conferenza delle Parti tenutasi a Kyoto nel dicembre 1997. I paesi firmatari della convenzione del 1992 approvarono un pro-

tocollo di intesa che comportava una serie di impegni che i paesi industrializzati avrebbero dovuto assumersi. In questa occasione viene attribuita una forte responsabilità all'inquinamento ambientale provocato dall'industria. I paesi industrializzati, responsabili di oltre il 70% delle emissioni, si impegnano a ridurre complessivamente del 5,2% le emissioni dei gas serra entro un periodo compreso tra il 2008 e il 2012. Per i paesi dell'Unione Europea nel loro insieme la riduzione deve essere dell'8%, per gli Stati Uniti del 7%, per il Giappone del 6%. La quota italiana prevista è del 6,5%, che nel frattempo è salita al 12% poiché in questi anni le nostre emissioni sono aumentate del 5,5%.

Il Protocollo è stato ratificato da 109 paesi, ma per entrare in vigore richiedeva la ratifica di un numero di Paesi sviluppati le cui emissioni totali di anidride carbonica rappresentassero almeno il 55% delle emissioni totali del 1990.

L'adesione degli Stati Uniti d'America, che sono uno dei più grandi emettitori di gas serra con una quota del 36% sul totale, risultava dunque fondamentale. Ma alla Conferenza delle Parti tenutasi all'Aja nel novembre 2000, il negoziato sui meccanismi di attuazione del Protocollo ha subito una battuta d'arresto per la divergenza tra Europa e America sull'impegno alla riduzione delle emissioni. L'Unione Europea ha comunque ribadito a Bonn, nel giugno del 2001, che la ratifica del Protocollo restava una priorità per tutti i Paesi.

Solo a settembre del 2004 la Russia ha ratificato il Protocollo, rendendolo finalmente operativo e portando la quota delle emissioni dei paesi che lo hanno ratificato dal 43% al 61%. Il Protocollo è entrato in vigore il 15 febbraio del 2005.

Il rispetto del Protocollo di Kyoto può essere conseguito tramite programmi attuativi specifici nazionali, ma anche attraverso l'utilizzo di 'meccanismi flessibili', che danno la possibilità di utilizzare a proprio credito attività di riduzione delle emissioni effettuate al di fuori del territorio nazionale. Essendo infatti il problema dei cambiamenti climatici un fenomeno globale, gli effetti negativi e positivi travalicano i confini delle nazioni e dunque anche gli interventi migliorativi possono essere transnazionali. Sono stati individuati tre meccanismi flessibili:
- IET_*International Emission Trading*;
- CDM_*Clean Development Mechanism*;
- JI_*Joint Implementation*.

Gli obiettivi e il funzionamento di questi meccanismi sono stati definiti dalla settima conferenza della Convenzione sui Cambiamenti Climatici di Marrakech nel novembre 2001.

L'utilizzo di questi meccanismi garantisce una serie di vantaggi:
- la realizzazione di progetti industriali JI e CDM ad elevata efficienza energetica comportano costi inferiori rispetto a quelli necessari a raggiungere gli stessi risultati di riduzione nei mercati interni;
- si realizza un positivo trasferimento di tecnologie innovative verso i paesi in via di sviluppo, evitando l'effetto '*dumping*' e contenendo l'aumento dei consumi dovuto all'industrializzazione dei paesi emergenti.

Nel 2004 il Parlamento Europeo ha approvato la direttiva europea '*Emissions Trading*', ossia il commercio dei diritti di emissione, che obbligherà le imprese europee (soprattutto attività energetiche, produzione e lavorazione di metalli, industria mineraria, ossia del cemento, della ceramica e del vetro) a rispettare entro il 2010 un tetto massimo di emissioni; la Commissione Europea intende però prevedere un uso limitato dei 'meccanismi flessibili' andando in questo modo a onerare eccessivamente le imprese, che saranno anche gravate dall'aumento dei prezzi dell'energia elettrica.
I meccanismi di Kyoto coinvolgono anche il settore delle costruzioni, che potrebbe ridurre la domanda di energia attraverso la costruzione di edifici a basso consumo energetico, migliorare l'efficienza termica tramite la costruzione di reti di teleriscaldamento, diminuire il fabbisogno energetico dei processi di produzione dei componenti edilizi.
Nel 1999 è stato rilevato che la CO_2 presente in atmosfera ammontava a 25 miliardi di tonnellate (Wienke, 2002). Il rapporto ambientale dell'European Environment Agency del 2002 sulle emissioni di gas serra in Europa (*Greenhouse gas emission trends and projection in Europe*) descrive che le emissioni di gas serra sono state ridotte in Europa del 2,3% tra il 1990 e il 2001. Nove Stati Membri non hanno attivato sufficienti politiche nazionali per ottenere gli obiettivi di Kyoto: Austria, Belgio, Danimarca, Grecia, Irlanda, Italia, Olanda, Portogallo, Spagna. Tra il 1990 e il 2001 sono diminuite le emissioni in molti settori (energetico, industriale, agricolo, gestione dei rifiuti) ma sono aumentate del 18% le emissioni del settore dei trasporti. Anche il settore edilizio ha contribuito alla riduzione delle emissioni grazie alla conversione di molti impianti dall'uso di gasolio all'uso di gas naturale, grazie alla diffusione dell'uso di biomasse, grazie alla maggiore efficienza energetica degli edifici determinata dall'incremento dell'isolamento termico e dall'aumento nell'uso del solare termico. La riduzione delle emissioni nel settore edilizio è stata del 3%, nonostante l'aumento del parco edilizio.

In Italia il recepimento del Protocollo di Kyoto è avvenuto attraverso la delibera CIPE del 1998, con la quale sono state approvate le "Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra" e che prevede la costituzione di un "Fondo nazionale per la protezione del clima", le cui risorse dovrebbero essere costituite dai proventi della *carbon tax*.
Gli obiettivi della delibera, che sono stati ripresi anche dal documento "**Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia**" (Deliberazione n. 57 del 2 agosto 2002, pubblicata nel Supplemento Ordinario n. 205 della Gazzetta Ufficiale Italiana n. 255 del 30 ottobre 2002) redatto dal

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio per la riduzione delle emissioni dei gas serra, sono:

• aumento dell'efficienza del parco termoelettrico (liberalizzazione del mercato e uso efficiente dell'energia elettrica con la delibera 96/92/CE)

• riduzione dei consumi energetici nel settore dei trasporti (miglioramento dei trasporti pubblici, trasferimento modale del trasporto merci da strada a ferrovia, sviluppo dei servizi telematici sostitutivi di mobilità)

• incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili (il Libro Bianco dell'Unione Europea del 1997 individua come obiettivo minimo per il 2010 il raddoppio del contributo energetico delle energie rinnovabili: la potenza elettrica alimentata da fonti rinnovabili dovrà passare dai 17.100 MW del 1997 a 24.700 MW nel 2008-2012 grazie all'incremento della produzione da biomasse, eolico, fotovoltaico, geotermia, idroelettrico, rifiuti, biogas; dal 2002 grandi produttori e importatori avranno l'obbligo di produrre e acquisire una quota minima del 2% proveniente da impianti a fonti rinnovabili)

• riduzione dei consumi energetici nei settori industriale, abitativo e terziario (la direttiva IPPC "Prevenzione e controllo integrato dell'inquinamento" impone la massimizzazione dell'efficienza energetica nei processi industriali; il programma SAVE dell'Unione Europea promuove iniziative di efficienza energetica; sono inoltre in atto la diffusione di ecoaudit, tramite l'incentivazione di sistemi di gestione ambientale EMAS e ISO 14000; uno degli obiettivi dichiarati è l'implementazione della valutazione del ciclo di vita dei prodotti tramite LCA; il DPR 412/93 prevede, per il settore civile, abitativo e terziario la riduzione dei consumi elettrici, per il riscaldamento e il condizionamento tramite interventi di manutenzione che riducano le dispersioni termiche e applicazione delle tecnologie bioclimatiche)

• riduzione delle emissioni nei settori non energetici

• assorbimento delle emissioni di CO_2 dalle foreste (le attività forestali e i *sinks* sono considerati pozzi di assorbimento di gas serra e quindi conteggiati come strumenti di riduzione, che acquisiscono 'crediti di carbonio').

Essendo il ruolo dei decisori pubblici di primaria importanza per indirizzare verso azioni volte alla sostenibilità ambientale, la Comunità Europea ha elaborato dei Programmi di Azione in Materia Ambientale volti a identificare strategie comuni e a sollecitare azioni a livello locale-nazionale. Già nel 1973 il **Primo Programma di Azione della Comunità Europea in Materia Ambientale** conteneva il seguente testo: «Il Parlamento Europeo ribadisce la sua richiesta di introdurre nella Comunità un certificato di purezza per prodotti durevoli che possano essere reinseriti nel processo di produzione e provochino soltanto un grado limitato di inquina-

linee guida per la riduzione delle emissioni

Nel 1998 il CIPE ha emesso le *Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra* in cui sono indicati gli obiettivi di riduzione delle emissioni:

azioni nazionali per la riduzione delle emissioni dei gas serra	**Mt CO_2 2002**	**Mt CO_2 2006**	**Mt CO_2 2008**
aumento dell'efficienza nel parco termoelettrico	- 4-5	- 10-12	- 20-23
riduzione dei consumi energetici nel settore dei trasporti	- 4-6	- 9-11	- 18-21
produzione di energia da fonti rinnovabili	- 4-5	- 7-9	- 18-20
riduzione dei consumi energetici nei settori industr/abitat/terziar	- 6-7	- 12-14	- 24-29
riduzione delle emissioni nei settori non energetici	- 2	- 7-9	- 15-19
assorbimento delle emissioni di CO_2 dalle foreste			- 0,7
totale	- 20-25	- 45-55	- 95-112

mento nelle fasi della produzione e del consumo e di consentire l'immissione in commercio di prodotti che non rispondano ai requisiti soltanto a condizione che siano provvisti di relativo avvertimento»; questi concetti hanno poi portato alla definizione delle norme su *Life Cycle Assessment*, ecolabelling, eco-gestione, ecobilancio.

Il **Quinto Programma** di Azione delle Comunità Europee in materia Ambientale (1992-1999) si basava sul principio di "condivisione delle responsabilità", coinvolgendo tre attori principali: le Amministrazioni Pubbliche, le imprese pubbliche e private, il pubblico (i consumatori). La Pubblica Amministrazione promuove presso le imprese l'utilizzo di strumenti di informazione ambientale come l'etichettatura ecologica, la valutazione del ciclo di vita dei prodotti, i sistemi di ecogestione e audit ambientale, e il pubblico, correttamente informato, dovrebbe orientare la domanda verso soluzioni ambientalmente sostenibili.

Nel febbraio del 2001 la Commissione Europea ha pubblicato il **Libro Verde** sulla **Politica Integrata di Prodotto** (*Green Paper on Integrated Product Policy*). La *Integrated Product Policy* (IPP) ha come obiettivo quello di orientare il mercato verso prodotti sostenibili grazie alla promozione di strumenti di politica integrata orientati alla 'committenza verde' (*demand side*) e allo sviluppo di prodotti sostenibili (*supply side*). Per ottenere questo, la prospettiva adottata è quella dell'approccio al ciclo di vita, che cerca di andare a coinvolgere e responsabilizzare tutti gli attori del processo di produzione e consumo.
Si parla di "politica" in quanto il ruolo delle Pubbliche Amministrazioni risulta centrale per agevolare gli interventi e definire gli obiettivi. Il Libro Verde afferma esplicitamente che "le amministrazioni pubbliche devono assumersi le proprie responsabilità ed essere le prime a creare una domanda di prodotti ecologici". Infatti incrementare la domanda di prodotti eco-compatibili consente di riorientare il mercato, di cui le amministrazioni pubbliche costituiscono una buona fetta (*Green Procurement*).
Si parla di "integrazione" sia per quanto riguarda i soggetti coinvolti che per quanto riguarda gli strumenti e i metodi di valutazione. Innanzitutto si cerca di individuare un quadro di riferimento comune per tutti gli Stati membri, che veda il coinvolgimento di tutti gli operatori del processo, tramite diverse forme di responsabilizzazione. La valutazione della compatibilità ambientale dei prodotti prevede quindi l'esame di tutto il processo, attraverso l'analisi dell'intero ciclo di vita; questo

richiede ovviamente anche l'utilizzo "integrato" di strumenti diversi, sia per tipo di analisi (ecobilanci, ecoaudit, ecc.) che per scala di approccio (dal prodotto al territorio).
La politica integrata dei prodotti ha come oggetto di interesse le fasi in cui vengono prese le decisioni, quindi la progettazione e l'informazione. Per una idonea scelta in fase progettuale è fondamentale essere in possesso di informazioni adeguate: le informazioni devono essere "comprensibili, pertinenti e credibili" e facilmente accessibili.
I vari stati membri dell'Unione Europea stanno adottando differenti politiche ambientali di prodotto, come per esempio la *producer responsibility* (responsabilità del produttore), il *take-back* ('prendere indietro' a fine vita il prodotto), le etichettature ecologiche e altre. Gli stati che più hanno elaborato e applicato politiche ambientali sono Danimarca, Svezia, Olanda e Inghilterra.
Il Libro Verde sottolinea l'importanza che politiche ambientali e iniziative vengano attivate a livello locale, in modo da essere aderenti alle prassi correnti, e siano poi trasferite a una scala più ampia, adottando un approccio dal basso verso l'alto. Ovviamente questo comporta però una grande proliferazione di strumenti, metodi e approcci: le diverse politiche ambientali adottate hanno portato a evidenziare la necessità di armonizzare le misure a livello europeo e attualmente si sta lavorando per questo.
La Politica Integrata di Prodotto mira a superare l'approccio tradizionale delle politiche ambientali che si sono occupate solo delle fasi a monte, relative alla produzione, e a valle (*end-of-pipe*) dei processi produttivi, per porre invece l'attenzione sull'intero ciclo di vita dei prodotti al fine di ridurre gli impatti ambientali mediante il controllo integrato di tutte le fonti di inquinamento e consumo e coinvolgendo tutti gli attori della filiera del prodotto.

Per ipotizzare scenari di cambiamento in senso ambientale occorre l'attivazione degli operatori alla base del processo, ossia produttori e consumatori, tenendo conto che le aziende si attivano solo sotto pressione (o per imposizione legislativa o per richiesta del cliente).
Le normative hanno un notevole ascendente sull'innovazione di prodotto e di processo in termini ambientali: per esempio quando è stata emanata la legge che proibiva l'uso del CFC-11 si sono cercati altri agenti espandenti.
Ma gli attuali orientamenti sono volti alla normativa volontaria, a sostituzione della normativa cogente, e quindi a semplici indicazioni e indirizzi 'di comportamento', che però non ottengono la stessa pressione nei confronti delle aziende.
Diventano dunque determinanti le scelte sugli acquisti di beni e servizi: i consu-

matori possono orientare il mercato verso l'affermazione di prodotti che generano minori impatti ambientali. Ma l'utenza singola non è in grado di riorientare il mercato. Un quantitativo di tutto interesse è invece quello che gravita attorno agli acquisti delle Amministrazioni Pubbliche: il loro orientamento a integrare, accanto ai tradizionali parametri di prestazione e di prezzo, anche l'aspetto dell'impatto ambientale, porta a veicolare una quota consistente di mercato verso una concorrenza basata sui parametri ambientali.
Per questo le politiche ambientali europee spingono ad incentivare la **'committenza verde'** (*Green Procurement*)
La difficoltà da superare, e che finora ha determinato un atteggiamento scettico da parte dei consumatori, è la confusione ancora presente e la scarsa attendibilità delle informazioni riguardo all'identificazione dei "prodotti verdi". Solo un sistema armonizzato, quantificabile, oggettivo e trasparente di informazione ambientale può determinare la presenza di informazioni attendibili che stimolino e guidino le scelte dei consumatori.

Con ***Extended Producer Responsability*** *(EPR)* si intende la responsabilizzazione del produttore lungo il ciclo di vita del prodotto, mentre con ***Shared Responsability*** *(SR)* si intende la condivisione delle responsabilità tra tutti gli attori lungo il ciclo di vita. Entrambe queste formule mirano a individuare i principali attori del processo di consumo e di inquinamento e a responsabilizzarli in relazione ai temi ambientali.
Infatti se si adotta l'approccio *life-cycle* e si prende in considerazione l'intero ciclo di vita, produttori, utilizzatori, autorità pubbliche condividono specifiche responsabilità in quanto a impatti causati. In ogni caso è in genere il produttore che ha un ruolo determinante nella produzione degli impatti, non solo perché è lui che genera impatti in fase di produzione, ma anche perché è lui a determinare le prestazioni in fase d'uso (e i relativi impatti) e le condizioni di dismissione (e i relativi impatti). Il fatto di estendere le responsabilità lungo l'intero ciclo di vita consente di coinvolgere i produttori rispetto alla fase di dismissione, ponendo loro il problema dell'eventuale riciclo o riuso dei componenti e aprendo nuove prospettive di mercato ai produttori stessi, che potrebbero estendere non solo le loro responsabilità, ma anche la loro fornitura di servizi nella fase d'uso e manutenzione e partecipare alla dismissione recuperando materia prima utile e rigenerabile in materia seconda.
Responsabilizzare i produttori rispetto al fine-vita dei loro prodotti, dovrebbe avere l'effetto di modificare il loro modo di 'progettare' i prodotti, portandoli a ragionare sulla durabilità, la manutenibilità, l'aggiornabilità, la disassemblabilità e la riciclabilità.

In quest'ottica devono essere letti anche gli attuali sforzi di tipo normativo nella definizione di linee guida e nella disposizione di vincoli che indirizzino la produzione e la progettazione verso l'ottenimento di risultati ambientali.
Questi orientamenti sono volti a modificare profondamente sia l'organizzazione della produzione che il costruire. Si delinea uno scenario in cui la precisazione dei requisiti ambientali diventerà tema chiave per la realizzazione e gestione degli edifici.

PRODOTTI EDILIZI ECO-COMPATIBILI E *LIFE CYCLE ASSESSMENT*

1.1

Ai materiali e componenti edilizi viene attribuito un ruolo sostanziale nell'incremento degli impatti ambientali prodotti da un manufatto architettonico. L'estrazione di materie prime provoca la diminuzione delle risorse. La produzione e il trasporto di prodotti edili consuma energia e genera emissioni. I rifiuti edilizi generano invece problemi di inquinamento del suolo.

Oltre al ruolo giocato dagli impatti generati dalla fase produttiva dei materiali edilizi va anche valutato quello giocato dalla fase d'uso degli edifici.

Il metodo di valutazione ambientale che consente di mettere in evidenza gli impatti ambientali generati lungo tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto edilizio, in modo da poter porre a paragone le diverse fasi e verificare quali siano più impattanti, è la *Life Cycle Assessment* o 'valutazione del ciclo di vita'.

Questo metodo di valutazione permette di ovviare a tutti quei pregiudizi o errori di valutazione che derivano da un approccio soggettivo e 'sentimentale' e che fanno attualmente associare al concetto di prodotto eco-compatibile l'idea di un prodotto realizzato con materiali naturali.

Occorre sottolineare che attribuire il concetto di naturale agli attuali componenti edilizi risulta alquanto difficile a causa dei processi di lavorazione industriale a cui ormai tutti i prodotti vengono sottoposti. Inoltre proprio tali processi di lavorazione industriale garantisco prestazioni elevate e durabilità dei componenti in opera, andando dunque spesso a determinare un bilancio ambientale complessivamente positivo se si effettua una analisi del ciclo di vita rispetto a prodotti non trattati e dunque poco durevoli.

L'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* - LCA), introdotta nel 1999 dal SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemestry) è un metodo di analisi sistematica che quantifica e valuta gli impatti ambientali di un prodotto o un servizio durante

tutto il suo ciclo di vita (dalla culla alla tomba), attraverso la quantificazione dei flussi di materia ed energia in ingresso e in uscita nelle fasi di estrazione delle materie prime, trasporto, produzione, distribuzione, uso e dismissione.

Realizzare una valutazione del ciclo di vita permette di evidenziare gli impatti generati lungo tutto il processo di produzione, uso e fine vita e di conseguenza rende possibile operare interventi volti alla riduzione del consumo di risorse e delle emissioni inquinanti.

In una LCA vengono considerati:

- gli *inputs* (materiali, energia, acqua);
- gli *outputs* (emissioni in aria e in acqua e rifiuti solidi).

L'analisi viene effettuata su diverse fasi:

- acquisizione di risorse primarie;
- trasporti allo stabilimento;
- produzione;
- trasporti al cantiere;

• costruzione;
• uso e manutenzione;
• dismissione dell'edificio;
• smaltimento di macerie e materiali edilizi.

Viene quindi realizzato un inventario dei flussi relativi alle diverse fasi e in seguito i dati di inventario vengono catalogati rispetto agli impatti ambientali che si vogliono analizzare (effetto serra, eutrofizzazione, consumo di energia primaria, produzione di rifiuti, ecc.).
Tali operazioni consentono di costituire degli 'indicatori aggregati di impatto' in modo da poter costruire un profilo ambientale di ciascun prodotto. L'obiettivo ultimo è poter porre a paragone i profili ambientali di prodotti diversi, in modo da poter individuare quale sia più eco-compatibile. Ma tale operazione è molto delicata e richiede il rispetto di due regole fondamentali:
- utilizzare una procedura omogenea nella realizzazione dello studio LCA per poter ottenere dati confrontabili e omogenei
- operare delle comparazioni solo rispetto a condizioni d'uso specifiche ed evitare comparazioni assolute.
Per garantire la confrontabilità dei dati, l'accessibilità e diffusione dell'informazione ambientale e l'omogeneità dei risultati, lo strumento più efficace, soprattutto nel settore edilizio, è la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD), una etichettatura ambientale che restituisce in maniera uniformata e confrontabile i risultati della LCA.
La Dichiarazione ambientale di prodotto, nota come EPD (*Environmental Product Declaration*) è un documento, volontario, che accompagna la commercializzazione del prodotto, in seguito a un processo di verifica dei contenuti da parte di un ente di certificazione.
Grazie all'uniformità delle procedure e dei parametri adottati, è possibile la comparabilità dei dati relativi a prodotti analoghi, in modo che l'acquirente possa scegliere sulla base di informazioni ambientali precise.

Il Quinto Programma di Azione delle Comunità Europee in materia Ambientale ha promosso l'utilizzo di strumenti di informazione ambientale come l'etichettatura ambientale, la valutazione del ciclo di vita dei prodotti, i sistemi di ecogestione e audit ambientale.
Il principio chiave di questa politica di informazione ambientale si basa sulla diffusione e trasparenza delle informazioni, in modo che l'acquirente (committente o progettista o impresa di costruzioni o utente finale), correttamente informato, possa

scegliere e orientare la domanda verso soluzioni ambientalmente sostenibili.
Molte amministrazioni pubbliche in Europa stanno elaborando normative e indirizzi per la valutazione della qualità ambientale dei prodotti edili. Ma in assenza di un controllo normativo il rischio di confusione e di circolazione di informazioni ambientali non scientificamente comprovate è alto e può disorientare il mercato.
Ne deriva che il problema della chiarezza, della completezza e della correttezza dell'informazione tecnica riveste un ruolo centrale.
I criteri per una corretta informazione sono:
- la credibilità, che dipende dalla fonte;
- l'oggettività, che dipende dallo strumento utilizzato per compiere la valutazione;
- la comparabilità, che dipende da come viene comunicata l'informazione;
- l'univocità, che può essere ottenuta aderendo a una convenzione nazionale o internazionale.
La Comunità Europea ha già dato una risposta attraverso le norme della serie ISO 14000, che danno indicazione su strumenti che possono essere applicati a diversi livelli e che consentono di ottenere informazioni ambientali che hanno i requisiti che si ricercavano prima: di univocità, attraverso lo standard ISO, di oggettività, attraverso il metodo dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*), di comparabilità, attraverso l'uso dell'etichettatura come sistema di scrittura delle informazioni.
Attualmente l'International Standard Organization sta sviluppando una serie di norme, le ISO 14020, con l'obiettivo di stabilire delle regole comuni nel campo delle etichette e dichiarazioni ambientali, per evitare fenomeni di distorsione dei meccanismi della libera concorrenza e agevolare la diffusione e l'efficacia di questi strumenti. Le etichette ambientali sono sempre basate sull'approccio *life cycle*, per evitare che misure volte a diminuire gli impatti in una fase determinino un aumento degli impatti in un'altra fase del ciclo di vita.

L'utilizzo della LCA si sta affermando nelle imprese, come strumento per ottenere l'assegnazione di etichette ambientali. Le associazioni industriali di categoria sono soggetti fortemente interessati all'introduzione di questi vincoli, come lo sono stati rispetto all'introduzione della qualificazione della produzione e del sistema aziendale. La LCA può influire sulla progettazione dei prodotti e sulla progettazione dei processi produttivi. Il vantaggio per le imprese è che molti degli accorgimenti ai fini ambientali (soprattutto sotto il profilo del risparmio di risorse energetiche e materiali) consentono anche un risparmio sui costi.
 L'adozione di nuove normative comunitarie e internazionali porta le imprese italia-

ne ad adottare come criteri di scelta della propria rete di fornitori non solo i tradizionali requisiti qualità/prezzo, ma anche i requisiti ambientali (come per esempio evitare l'uso di sostanze tossiche, ridurre il numero di materiali impiegati nel prodotto per favorire la riciclabilità). I parametri considerati sono una mediazione tra performance ambientale, qualità prestazionale, costi e flessibilità dell'offerta.
L'EPD costituisce strumento di informazione non solo nei confronti del cliente finale, ma anche lungo la filiera produttiva (*Business to Business*).

Occorre però a questo punto sottolineare che mentre nell'ambito della produzione di un prodotto industriale è sufficiente dare indicazioni inerenti al prodotto in sé, in ambito edilizio la qualificazione dei prodotti non è sufficiente a garantire la qualità ambientale del prodotto edificio nel suo complesso. Entrano in gioco dunque considerazioni di più ampio respiro che devono però essere messe a sistema in una

valutazione dei requisiti ambientali di carattere complessivo.
Il componente edilizio viene inserito in un altro “prodotto”, ossia l’edificio, ed è quindi a livello di edificio che può essere correttamente analizzato il ciclo di vita sia dell’edificio che dei componenti che lo costituiscono.
Progettare componenti e prodotti tenendo conto del ciclo di vita degli edifici significa preoccuparsi degli effetti che la produzione edilizia, la costruzione, la gestione e la dismissione di un fabbricato hanno sull’ambiente: l’attenzione progettuale non va riposta solo su una delle fasi del ciclo di vita dell’edificio, ma è necessaria una valutazione complessiva dei costi e degli impatti ambientali di tutte le fasi. Infatti non ha senso per esempio adottare un materiale ‘naturale’ (come il legno), valutandone il minor impatto in termini di produzione edilizia, senza tenere conto della durata dell’edificio (notevolmente superiore a qualsiasi altro artefatto) e dunque degli impatti in fase di gestione o di dismissione.
Gli impatti della produzione e costruzione dell’edificio vanno relazionati alla capacità di durare nel tempo, che non è legata solo alla durabilità dei materiali, ma anche alla fruibilità, e dunque alla manutenibilità, adeguabilità e reversibilità.
Le valutazioni degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita e l’approccio *life cycle* hanno delle ripercussioni importanti sul progetto: il progetto diventa in pratica la sede di decisioni che influiscono non solo sulla costruzione, ma anche sulla gestione, manutenzione e addirittura dismissione dell’edificio, imponendo al progettista una visione a lungo termine del proprio operato e responsabilizzando il progetto rispetto all’intero ciclo di vita dell’edificio.

LA DIRETTIVA EUROPEA SUL REDIMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

1.2

Black out energetici e cambiamenti climatici sono i due aspetti che manifestano la necessità di un ripensamento del nostro modo di produrre e utilizzare energia. Da un lato per l'inadeguatezza sempre più evidente dell'attuale produzione energetica nel far fronte alle richieste di consumo e dall'altra per l'impossibilità di pensare a un aumento della produzione e dei consumi di energia senza una ripercussione rapida sulla qualità di vita sul nostro pianeta. L'incapacità da parte dell'ambiente, di fronte alla crescita dei consumi, da un lato di fornire risorse e dall'altro di assorbire i rifiuti e l'inquinamento prodotto, pone proprio il tema della 'sostenibilità' dei consumi. È dunque sulla diminuzione dei consumi che occorre puntare l'attenzione.

Se la misura che si pensa essere opportuno adottare primariamente per diminuire gli impatti ambientali è quella di ridurre i consumi energetici, occorre partire dal comparto che maggiormente è causa di consumo: il settore edilizio. La fase d'uso degli edifici assorbe un terzo dell'energia primaria consumata: in particolare il settore residenziale e terziario assorbono oltre il 40% del consumo finale di energia.

Un primo vincolo normativo in Italia a favore del risparmio energetico è stato introdotto con la legge 10 del 1991, che aveva l'obiettivo di ridurre i consumi energetici. Pur essendo stata l'Italia allora pioniera nell'introdurre a livello normativo il tema del risparmio energetico, nulla è stato poi fatto in termini attuativi, a parte il DM 02/04/1998 "*Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi*" che obbliga alla certificazione tutti i prodotti che hanno nelle specifiche prestazionali riferimenti al risparmio energetico. Nel decreto vengono indicate anche le caratteristiche che devono essere oggetto di certificazione: per i materiali isolanti vanno indicate la massa volumica e la conduttività termica e per i pannelli isolan-

ti (componenti per chiusure perimetrali) va indicata la resistenza termica areica o la conduttività termica (anticipando dunque il marchio CE).
Viceversa la Comunità Europea ha lavorato molto per introdurre il risparmio energetico nella prassi costruttiva. Va sottolineato che gli sforzi di elaborazione di indirizzi e norme di riferimento ha come obiettivo integrato la riduzione dei consumi di energia e la riduzione degli impatti ambientali.
Lo dimostra per esempio la direttiva SAVE 93/76/CEE del 13 settembre 1993, che nasce con l'obiettivo di limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica.

Proprio con uno scopo primariamente ambientale nasce anche la direttiva europea ***Energy Performance of Buildings [EPBD]*** 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico degli edifici. Lo scopo della direttiva è quello di promuovere uno strumento di salvaguardia ambientale che consenta di ridurre le emissioni di CO_2. Per rispettare i vincoli posti dal Protocollo di Kyoto, di riduzione dell'8% delle emissioni di gas serra in Europa entro il 2010, la direttiva individua nell'efficienza energetica degli edifici un contributo sostanziale al raggiungimento di questo obiettivo. Essendo le emissioni di anidride carbonica principalmente determinate dalla combustione ed essendo il riscaldamento degli edifici tra i maggiori responsabili di tali emissioni, a ciò si rivolge la direttiva, con l'obiettivo dell'eco-efficienza.
La direttiva prevede che ciascun stato membro della Comunità Europea provveda entro il 4 gennaio del 2006 all'introduzione di un sistema di certificazione del rendimento energetico e all'applicazione di norme minime negli edifici di nuova

rendimento energetico di un edificio

Il rendimento energetico totale di un edificio viene espresso dalla quantità dell'energia stimata ed effettivamente consumata per soddisfare i diversi bisogni connessi all'uso dell'edificio (riscaldamento degli ambienti, riscaldamento dell'acqua, condizionamento, ventilazione, illuminazione, ecc.). Tale valore deve essere espresso da uno o più indicatori numerici calcolati tenendo conto della coibentazione, degli apporti solari e degli apporti interni, della tenuta all'aria, delle caratteristiche tecniche, impiantistiche e architettoniche e della posizione in relazione agli aspetti climatici, all'esposizione al sole e al suo utilizzo, all'influenza degli edifici adiacenti, all'esistenza di sistemi di generazione propria e rinnovabile di energia e di altri fattori ivi compresa la qualità climatica interna.

costruzione e in ristrutturazione (con superficie utile superiore a 1.000 m^2).
Si pone in evidenza subito una forte criticità della direttiva: il fatto di limitare l'applicazione a edifici con superficie abitabile superiore ai 1000 m^2 significa escludere una fetta molto ampia dello stock edilizio (fig. a) e oltretutto la parte di parco edilizio maggiormente energivoro, ossia le case unifamiliari, che per la loro conformazione (rapporto tra superficie dell'involucro e volume dell'edificio) tendono a una notevole dispersione termica (cfr. § 2.1).
Nella direttiva si tiene conto che edifici conformi ad elevati standard di termocoibenza possono ridurre il proprio fabbisogno energetico anche del 60%, mediante l'ottimizzazione dei sistemi solari passivi e attivi, lo sfruttamento della luce naturale, l'utilizzo di sistemi di raffrescamento naturale e il controllo della radiazione e dell'abbagliamento solare.

	Building age	Total	One family house	Apartment house <1000m^2	Apartment house >1000m^2	Small non-residential buildings <1000m^2	Nonresidential buildings >1000m^2
	Year	[Million m^2]	[Million m^2]	[Million m^2]	[Million m^2]	[Million m^2]	[Million m^2]
Cold climatic zone	< 1975	534	220	109	59	55	92
	1975-1990	154	63	31	17	16	27
	1991-2002	120	31	26	14	18	30
Moderate climatic zone	< 1975	9,145	4,607	1,242	669	780	1,848
	1975-1990	2,551	1,290	348	187	216	511
	1991-2002	1,708	670	181	97	226	535
Warm climatic zone	< 1975	3,116	1,197	769	414	319	416
	1975-1990	1,945	748	480	259	199	259
	1991-2002	1,175	399	256	138	166	216

fig. a. Quantificazione dello stock edilizio europeo per tipologie abitative e area climatica (fonte: ECOFYS, 2003)

I parametri che entrano in gioco nella progettazione per ottenere un basso consumo energetico sono: la coibentazione termica dell'edificio in modo che non disperda calore (quindi incremento dell'uso di materiali isolanti rispetto alla prassi corrente); un corretto orientamento dell'edificio rispetto al sole; un corretto rapporto tra parti vetrate, parti opache e parti 'a massa' dell'involucro; lo sfruttamento passivo dell'energia solare tramite vetrate rivolte a sud (schermabili in estate); l'uso di collettori solari per la produzione dell'acqua calda e di pannelli fotovoltaici per la produzione dell'energia elettrica (sfruttamento attivo dell'energia solare); l'uso di sistemi impiantistici basati su energie rinnovabili o ad alto rendimento energetico.
La produzione di elementi tecnici che favoriscano il risparmio energetico viene pre-

miata in un'ottica *life-cycle*: infatti nel corso del suo esercizio un edificio convenzionale consuma circa dieci volte più energia di quella necessaria per la sua costruzione. Il rapporto tra energia usata ed energia grigia, impiegata nella produzione dei materiali e nella costruzione degli edifici, è di 10:1 (Wienke, 2002).
Di conseguenza la riduzione degli impatti ambientali, e in particolare la riduzione delle emissioni di CO_2, è fortemente legata alla costruzione di edifici a basso consumo energetico e alla riqualificazione degli edifici esistenti, che attualmente sono 'energivori' (cfr. § 3.2).
Le misure e le soluzioni tecniche da adottare variano a seconda del clima e della regione, per cui la direttiva prevede che gli stati membri introducano proprie regole sulle procedure di controllo, sulle modalità di calcolo e verifica, in vista del 4 gennaio 2006, data a partire dalla quale tutti gli atti di compravendita di unità immobiliari oggetto di transazione dovranno essere accompagnati da attestati di certificazione energetica.
Di particolare rilevo è il ruolo giocato dall'isolamento termico: l'attuale parco edi-

gradi-giorno (fonte: Chiesa, Dall'O', 1996)

Per il calcolo dei gradi giorno in Italia si assume una temperatura interna di riferimento di 19°C per tenere conto degli apporti gratuiti di calore all'edificio (persone, illuminazione, carichi elettrici di vario tipo). La temperatura esterna media giornaliera è stata determinata per ogni giorno con la media dei seguenti quattro valori di temperatura:
- temperatura massima giornaliera
- temperatura minima giornaliera
- temperatura alle ore 8
- temperatura alle ore 19.

La sommatoria delle differenze tra la temperatura interna di riferimento e la temperatura esterna media giornaliera è estesa ad un periodo pari alla durata convenzionale del periodo di riscaldamento.
Convenzionalmente in Italia si è assunto che tale periodo corrisponda ai giorni in cui la temperatura media esterna risulta inferiore ai 12°C.
L'impianto di riscaldamento interverrà quindi solo quando la temperatura media esterna risulta inferiore ai 12°C.
Il territorio nazionale è suddiviso, in funzione dei gradi-giorno, in sei zone climatiche:

zona A comuni che presentano meno di 600 gradi-giorno
zona B comuni che presentano 600 - 900 gradi-giorno
zona C comuni che presentano 900-1400 gradi-giorno
zona D comuni che presentano 1400-2100 gradi-giorno
zona E comuni che presentano 2100-3000 gradi-giorno
zona F comuni che presentano più di 3000 gradi-giorno

lizio è caratterizzato da altissimi valori di trasmittanza termica (superiori a 1,00 W/m^2K) mentre dovranno essere garantiti livelli di trasmittanza termica dell'involucro (specifica per copertura, chiusure verticali, solai contro terra e finestre), diversa a seconda della zona climatica, tali da contribuire a contenere i consumi energetici.

Alcuni orientamenti sulle trasmittanze termiche sono state stimate dallo studio svolto da Ecofys (2003). Sono state individuate tre zone climatiche in Europa:

- zona climatica calda 1800 gradi-giorno
- zona climatica temperata 3500 gradi-giorno
- zona climatica fredda 4500 gradi-giorno.

Comune	Quota s.l.m. (m.)	Temp. esterna di prog. (°C)	Temp. esterna media inv. (°C)	Zona clima-tica	Durata convenz. del periodo di riscaldamento (giorni)	Gradi Giorno
Agrigento	230	3	11,5	B	121	729
Alessandria	95	-8	5,5	E	183	2559
Ancona	16	-2	9,1	D	166	1688
Aosta	583	-10	4,3	E	183	2850
Bari	5	0	10,3	C	137	1185
Belluno	383	-10	4,9	E	183	2936
Bologna	54	-5	7,3	E	183	2259
Bolzano	262	-15	6,1	E	183	2791
Cagliari	4	3	11,9	C	137	990
Catania	7	5	11,8	B	121	833
Como	201	-5	7,3	E	183	2228
Firenze	40	0	8,2	D	166	1821
Forlì	34	-5	6,8	D	166	2087
Genova	19	0	10,5	D	166	1435
Lecce	49	0	10,6	C	137	1153
Milano	122	-5	6,8	E	180	2404
Napoli	17	2	12,0	C	137	1034
Novara	159	-5	6,0	E	183	2463
Padova	12	-5	6,7	E	183	2383
Palermo	14	5	12,1	B	122	751
Perugia	493	-2	7,5	E	183	2289
Pescara	4	2	9,9	D	166	1718
Pesaro	11	-2	6,9	D	166	2083
Ravenna	4	-5	6,7	E	183	2227
Reggio Cal.	15	3	12,0	B	121	772
Roma	20	0	10,3	D	166	1415
Torino	239	-5	5,6	E	183	2617
Trento	194	-12	9,3	E	183	2567
Trieste	2	-5	8,1	D	166	1929
Venezia	1	-5	7,6	E	183	2345

fig. b. Gradi-giorno di alcune località italiane e zone climatiche (fonte: Chiesa, Dall'O', 1996)

Alla zona climatica calda appartengono dunque Grecia, Italia, Portogallo, Spagna; alla zona climatica temperata appartengono Austria, Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Lussemburgo, Paesi Bassi e Regno Unito; alla zona climatica fredda appartengono Finlandia e Svezia (fonte ECOFYS, 2003).
In realtà va sottolineato che in Italia la situazione è molto particolare: dare una definizione unitaria di area climatica all'intera nostra nazione non appare una approssimazione elevata. Il range di variazione va da meno di 600 gradi-giorno a più di 3000 gradi-giorno (fig. b). L'appartenenza a una zona climatica influenza le scelte progettuali: di conseguenza occorre calibrare bene, con una certa flessibilità, in quale range collocarsi e a quali valori di riferimento afferire.

La Direttiva non fa riferimento a parametri o prescrizioni progettuali, ma delega alle Nazioni la stesura di indicazioni specifiche. Occorre infatti che vengano definti metodi standardizzati per la verifica delle prestazioni degli edifici. A livello nazionale è il CEN, il Comitato Europeo di Normazione, a occuparsi della stesura delle norme tecniche che andranno a costituire il riferimento metodologico per le analisi previste nella Direttiva.
Le norme tecniche dovranno dare indicazioni su:
1. i metodi per calcolare l'**energia globale usata negli edifici** (devono essere definiti i cosumi di energia primaria e le emissioni di CO_2 in relazione ai diversi tipi di combustibile o fonte energetica utilizzata), ossia per calcolare

U-values [W/m²K]	Built before 1975 Not retrofit.	Built before 1975 Already	Built from 1975 until 1990	Built from 1991 until - 2002	New building 2003-20065	Retrofit 2003-2006	New building after 2006	Retrofit after 2006
Cold climatic zone								
Roof	0.50	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.13	0.13
Facade	0.50	0.30	0.30	0.20	0.18	0.18	0.17	0.17
Floor	0.50	0.20	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
Windows	3.00	1.60	2.00	1.60	1.42	1.42	1.33	1.33
Moderate climatic zone								
Roof	1.50	0.50	0.50	0.40	0.25	0.25	0.23	0.23
Facade	1.50	1.00	1.00	0.50	0.41	0.41	0.38	0.38
Floor	1.20	0.80	0.80	0.50	0.44	0.44	0.41	0.41
Windows	3.50	2.00	3.50	2.00	1.84	1.84	1.68	1.68
Warm climatic zone								
Roof	3.40	1.00	0.80	0.50	0.50	0.50	0.43	0.43
Facade	2.60	1.40	1.20	0.60	0.60	0.60	0.48	0.48
Floor	3.40	1.00	0.80	0.55	0.55	0.55	0.48	0.48
Windows	4.20	3.50	4.20	3.50	3.04	3.04	2.71	2.71

fig. c. Valori di trasmittanza termica in relazione a zone climatiche ed età degli edifici (fonte: ECOFYS, 2003)

l'**energia che entra nell'edificio** per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e acqua calda sanitaria (considerando l'ottimizzazione conseguibile tramite opportuni sistemi di automazione, regolazione e controllo), tenendo conto delle **prestazioni termiche** dei componenti edilizi, del livello di **ventilazione** ed infiltrazioni, delle condizioni ambientali interne e climatiche esterne;
2. le norme minime che gli edifici devono rispettare per essere considerati energeticamente efficienti;
3. il metodo di calcolo per la certificazione energetica;
4. le modalità per effettuare il **monitoraggio** e la verifica delle prestazioni energetiche (ispezioni periodiche degli impianti).
Dovranno dunque essere sviluppati metodi di simulazione e di monitoraggio strumentale che permettano di effettuare una valutazione energetica degli edifici e che servano per la certificazione.
Va sottolineato che l'approccio che si intende adottare è l'approccio prestazionale: non ci saranno prescrizioni tecnico-costruttive ma verranno definite le prestazioni da raggiungere e dei benchmark (valori di riferimento delle buone pratiche) con cui confrontarsi.
Alcuni scenari generali sono però già tratteggiabili.
Di particolare rilievo sarà il ruolo dell'isolamento termico ai fini del risparmio energetico. I valori di riferimento che saranno adottati dopo l'entrata in vigore della Direttiva sono stati 'stimati' da una ricerca di ECOFYS (2003) come illustrato nella tabella di fig. a (after 2006).

Se si pongono a confronto questi valori con i valori di trasmittanza termica indicati dalla Legge 10/91 si può comprendere quale salto costituirà l'introduzione della direttiva, soprattutto se si considera che le stesse prescrizioni della legge 10/91 non vengono normalmente rispettate. In maniera abbastanza contraddittoria, solo adesso sono in preparazione i decreti applicativi dell'articolo 4 della legge 10/91 (mai realizzati finora), finalizzati alla definizione di limiti prestazionali relativi ai consumi energetici e alle proprietà fisico-tecniche dell'involucro.

Mentre si attende l'entrata in vigore nel 2006 della direttiva sull'efficienza energetica degli edifici, va segnalata un'altra azione normativa che stimolerà l'efficienza energetica delle costruzioni. I **decreti legislativi di liberalizzazione dei mercati elettrico e gas**, rispettivamente Dlgs 179 del 1999 e il Dlgs del 2000, prevedono l'emanazione di provvedimenti che promuovano tra l'altro l'uso razionale dell'energia attraverso meccanismi di obbligo per i distributori di ener-

gia elettrica e gas (DM 24 aprile 2001). Tali decreti, modificati e in corso di approvazione, istituiscono un meccanismo di incentivazione permanente dell'efficienza energetica negli usi finali con interventi ammessi che riguardano principalmente l'edilizia. Attualmente sono uscite le linee guida dell'Authority contenenti le prescrizioni per raggiungere gli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica e viene riconosciuto il vantaggio in termini energetici dell'isolamento termico, incentivandone dunque l'uso per l'ottenimento dei titoli di efficienza.

STANDARD ENERGETICI E CERTIFICAZIONE EUROPEA

1.3

Il Canada e la Scandinavia sono stati pionieri del costruire edifici ad alta efficienza energetica, occupandosene già negli anni Settanta.

In Germania e in Svizzera i primi edifici a basso consumo energetico sono stati costruiti solo negli anni Ottanta e a scopo sperimentale.

Oggi lo standard degli edifici a basso consumo è di 25-60 kWh/m^{2}a (chilowattora al metro quadrato in un anno), corrispondente alla metà del fabbisogno termico di un edificio convenzionale di nuova costruzione (100-150 kWh/m^{2}a) e a circa un quarto di quello di un edificio di vecchia costruzione (200-250 kWh/m^{2}a). Ancora meno energia consumano le *passivhaus* con 15 kWh/m^{2}a.

La difficoltà nell'affermazione di edifici ad alta efficienza energetica è dovuta al loro maggior costo iniziale: solo poche persone sono infatti disposte a pagare un prezzo aggiuntivo del 10% per avere una casa ad alto rendimento energetico.

Ma il *pay-back* ottenuto con il risparmio energetico in fase d'uso ripaga ampiamente i maggiori costi iniziali di costruzione.

La strada per veicolare corrette informazioni agli utenti e per rendere il risparmio energetico un fattore concorrenziale nella vendita degli immobili è la certificazione energetica.

Però ci si è resi conto che se il sistema di certificazione energetica viene realizzato su base volontaria, trova scarsa diffusione; invece nei paesi come la Danimarca in cui è stato introdotto l'obbligo di produrre una certificazione energetica all'atto della vendita degli immobili ha portato a un'affermazione di questo strumento. Questo perché si viene a creare un sistema organizzato di strutture di supporto alla realizzazione della certificazione che ne garantisce l'affidabilità e ne semplifica la procedura, abbassando i costi; inoltre l'obbligo alla certificazione favorisce l'avvicinamento delle

persone alla conoscenza di questo strumento e l'abitudine a 'essere informati' sulle caratteristiche del proprio edificio, anche in relazione agli aspetti energetici. In diversi stati europei sono stati creati dei sistemi di valutazione e controllo dell'efficienza energetica degli edifici, che consentono in alcuni casi anche l'accesso a incentivi.

AUSTRIA (www.energiesparhaus.at/energieausweis)
Il governo del Land dell'Alta Austria nel suo programma EnergieAusweis fissa annualmente il valore limite del parametro consumo energetico specifico NEZ (*NutzheizEnergiekennZahl*) che rappresenta il limite massimo del consumo annuo di energia per unità di superficie (passato dal valore di 75 kWh/m^2a del 1995 a quello di 65 kWh/m^2a del 1998). Solo rispettando tale valore è possibile accedere agli incentivi federali.

DANIMARCA (www.ens.dk)
La Danimarca è stata la prima nazione a introdurre la certificazione energetica degli edifici nel 1981. Lo schema, elaborato inizialmente per far parte di un sistema di incentivi, è diventato obbligatorio per legge nel 1985. Inizialmente la certificazione era applicata alle case mono-familiari e bifamiliari. Successivamente è stato esteso anche agli edifici residenziali e del terziario (superiori a 1500 m^2).
Nel 1996 il Governo ha pubblicato il Piano Energetico "Energy 21" dal quale è scaturita, nel 1997, una legge di Certificazione Energetica (Act 1-1-97), resa obbligatoria dall'Act on Promotion of Energy and Water Conservation in Buildings, per gli edifici (sia di nuova costruzione che esistenti) classificati in base alla superficie:
- <1500 m^2 con certificazione solo all'atto della vendita con pagamento a carico di chi vende; tale certificazione viene eseguita da personale specializzato (schema EM o EK)
- >1500 m^2 con certificazione annuale basata sui dati di consumi mensili (schema ELO).

Lo schema EM o EK deve essere applicato solo in caso di transazione immobiliare ed è a carico di chi vende (un consulente autorizzato ispeziona l'edificio e determina i consumi in base alle caratteristiche dei corpi scaldanti e delle apparecchiature che consumano energia elettrica e acqua). La valutazione si basa sull'analisi dei consumi di energia, di acqua e sulle emissioni di CO_2.
Nel 2000 la Danimarca si è dotata di un piano operativo con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO_2 del 20% entro il 2005 rispetto al 1998 e ridurre fino a 45 kWh/m^2a il consumo specifico per il riscaldamento degli edifici. Negli ultimi tre

anni sono stati certificati 160.000 edifici, circa il 10% delle abitazioni familiari della Danimarca.

FRANCIA (www.ademe.fr)

La politica energetica francese è definita dal DGMEP (*Direction Generale de l'Energie et des Matieres Premiere*) insieme all'ADEME (*Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie*). Esiste una Legge sull'uso efficiente dell'energia, Legge n.96-1236 del 30-12-1996 (*Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationelle de l'Energie*) che prevede la certificazione obbligatoria energetica di tutti i tipi di edifici e che obbliga chi vuole vendere un edificio del settore terziario ad informare l'acquirente sui costi di gestione dell'edificio.

L'ADEME ha sviluppato anche un sofware semplificato (DCL – *Depense Conventionelle de Logemment)* che prevede una classificazione finale in 7 categorie di spese per riscaldamento comprendenti anche i consumi per l'acqua calda sanitaria e la ventilazione.

GERMANIA (www.enev-normen.de)

Progettare abitazioni con un valore parametrico del consumo di energia di riscaldamento minore di 75 kWh/m^{2}a calcolato con il metodo Frankfurt Energiepass è una condizione necessaria per usufruire degli aiuti dell'edilizia sociale erogati dall'Assia.

Il metodo suggerisce valori tipici di consumo specifico: per abitazioni vecchie ci si deve attendere valori oscillanti tra 150 e 250 kWh/m^{2}a, mentre per le nuove abitazioni che adottano sistemi di risparmio energetico accurato, tale valore è compreso tra 50 e 80 kWh/m^{2}a. Un altro aspetto interessante della procedura è rappresentato dal calcolo dell'indice di emissione di CO_2 per kg/kWh:

• intorno a 20 kg/m^{2}a per edifici ben isolati e con impianti di riscaldamento ad alta efficienza

• intorno a 100 kg/m^{2}a per edifici isolati male e con impianti di riscaldamento a bassa efficienza.

Nel febbraio del 2002 in Germania è entrata in vigore la nuova "Energiesparverordnung" (Decreto sul risparmio Energetico), che sostituisce la normativa del 1995 e riduce ulteriormente il fabbisogno termico ammissibile degli edifici nella misura del 25-30% rispetto ai valori previsti dalla vecchia normativa. Mentre negli edifici tedeschi di vecchia costruzione si consumano mediamente 230-250 kWh/m^{2}a, di cui 175 per il riscaldamento, in un edificio costruito dopo il 1995 il limite è fissato a 80-90 kWh termici. Secondo la più recente normativa, tutti gli edifici dovrebbero, invece, avere lo standard di un edificio a basso consumo energetico (25-60 kWh/m^{2}a).

OLANDA (www.ecn.nl)

L'Olanda ha messo a punto un indicatore di riferimento, il Coefficiente di Performance Energetica (EPC). L'EPC è un indicatore che rappresenta l'efficienza energetica di un dato edificio tenendo in considerazione tipologia e impianti. Questo coefficiente si ricava dividendo il consumo energetico caratteristico per il consumo energetico standardizzato. Il primo si riferisce al consumo per il riscaldamento degli spazi e dell'acqua corrente, per l'illuminazione e per gli impianti di ventilazione, raffrescamento e umidificazione. Il secondo dipende dalla forma e dalla dimensione dell'edificio. Più basso è l'EPC e più alta è l'efficienza energetica. Nel 1995 è stato fissato per legge l'EPC massimo consentito a edifici residenziali di nuova costruzione; in seguito è stato abbassato e stabilito anche per gli edifici non residenziali (Scudo, Piardi, 2002). Nel 1995 Il valore massimo dell'EPC per le abitazioni fu fissato a 1,4. Nei progetti dimostrativi il valore fu abbassato a 1,0.

REGNO UNITO (www.nher.co.uk ww.energy-ratings.co.uk)

In Inghilterra è stato stimato che il 28% delle emissioni di CO_2 proviene dal comparto residenziale. Per questo il governo ha introdotto l'obbligo per le abitazioni che vengono vendute di essere accompagnate da un 'pacchetto informativo' che deve includere anche una valutazione del comportamento energetico. Questo dovrebbe incentivare anche l'edilizia esistente a migliorare la propria efficienza energetica. L'edilizia inglese è infatti scarsamente isolata e come tale disperdente dal punto di vista energetico.

La valutazione delle prestazioni dell'edificio dal punto di vista energetico è stata introdotta da una legge del 1965 che nel corso degli anni ha subito modifiche fino all'approvazione del nuovo regolamento sull'efficienza energetica degli edifici.

In Inghilterra vengono utilizzati quattro sistemi di valutazione:

- Standard Assessment Procedure (SAP) method
- National Home Energy Rating (NHER) profile
- Building Energy Performance Index (BEPI) profile
- Carbon Dioxide Profile.

Il sistema di certificazione energetica utilizzato ufficialmente in Inghilterra è il SAP (*Standard Assessment Procedure*) introdotto nel 1995, il quale consente di tradurre i consumi di energia in punteggi, attraverso l'introduzione di una propria scala da 0 a 100, che derivano dall'applicazione di due sistemi di certificazione privati, l'NHER (*National Home Energy Rating*) e l'MVM (*Starpoint*). Questo sistema calcola le perdite energetiche sulla base della forma dell'edificio, delle prestazioni termiche dei componenti e del livello di ventilazione. Vengono inoltre valu-

tati i consumi energetici e le spese in combustibile, considerando anche i guadagni solari.
Tale analisi restituisce un *rating* (SAP) dell'edificio che va da 1 (bassa efficienza) a 120 (alta efficienza) basato sul costo dell'energia richiesta in un anno per riscaldamento e per acqua calda sanitaria:

SAP = 97 – 100 log(ECF), dove con ECF si intende il fattore del costo energetico (£/GJ). I nuovi edifici devono ottenere un minimo di SAP75; le costruzioni esistenti devono ottenere almeno un SAP60.
Il sistema NHER utilizza una scala da 1 a 10 e prende in considerazione gli spazi riscaldati, il consumo di acqua calda sanitaria e l'illuminazione, determinando i costi energetici. A livello nazionale il minimo è considerato 4.0.
Il sistema BEPI realizza valutazioni prendendo in considerazione l'orientamento dell'edificio e l'efficienza del sistema edificio, senza considerare gli impianti.
Il Carbon Dioxide Profile invece indica le emissioni di CO_2 derivanti dall'energia totale impiegata, a seconda del tipo di combustibile e di fonte di energia utilizzata.
Nel 1996 è stato rilevato che l'85% delle abitazioni inglesi risultava sotto il valore SAP60. Il processo di adeguamento dunque del parco edificato ai nuovi parametri di efficienza energetica è ancora arduo e di lunga realizzazione.

SVIZZERA (www.minergie.ch)
Il marchio Minergie (ossia *minimal energy*) garantisce che il fabbisogno termico (per il riscaldamento e l'acqua calda) di un edificio, sia di nuova costruzione che ristrutturato, non superi certi valori limite. Il marchio può essere richiesto sia dal progettista che dal costruttore, in modo da poterlo usare in fase di vendita. Il marchio è conferito da una associazione costituita dalla Federazione Svizzera dei Cantoni e dalle imprese. L'obiettivo è il comfort, che dipende dalle caratteristiche dell'involucro e dai ricambi d'aria. Il parametro rilevato è il "consumo energetico specifico" misurato e valutato in base all'energia finale fornita agli edifici. Il sistema Minergie valuta tre elementi:
- il consumo energetico
- l'installazione e uso di impianti di ventilazione meccanica
- i costi di investimento (che non devono superare del 10% quello di edifici convenzionali).

Per ogni tipologia di edificio vengono definiti valori limite di indice termico e di indice elettrico. Per gli edifici residenziali di nuova costruzione è previsto un limite di 45 kWh/m^2a, mentre per gli edifici residenziali costruiti prima del 1990 il limite è di 90 kWh/m^2a.

Per ottenere questi valori viene raccomandato un involucro impermeabile (per evitare infiltrazioni d'aria), isolamento termico (per evitare perdite di calore in inverno e surriscaldamento d'estate), sistema di ventilazione meccanica (per ricambiare l'aria recuperando il calore), forma compatta dell'edificio (per ridurre il fabbisogno termico).

ITALIA (www.provincia.bz.it)
La legge 10/91 e il DPR 412/93 obbligano il progettista a definire il consumo termico dell'edificio progettato tramite una procedura di calcolo descritta nella norma UNI 10344. La legislazione nazionale italiana in materia di risparmio energetico non prevede però una certificazione dello standard energetico degli edifici e permette consumi energetici molto superiori rispetto ad altri paesi europei.
Un caso pilota, 'esemplare' nella nostra nazione, di certificazione energetica è il marchio *CasaClima*, varato nel 2000 dalla Provincia Autonoma di Bolzano: si tratta di un documento, rilasciato dall'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente (ARPA) che certifica così il fabbisogno energetico degli edifici.
Un edificio viene classificato "CasaClima" se il fabbisogno annuo di calore non supera un certo valore in KWh/m^2 annuo. Bolzano è il primo comune che ha inserito l'obbligo di certificazione, che vige anche a livello provinciale. L'obiettivo della certificazione è quello di incentivare gli abitanti a ridurre le emissioni, rendendo trasparenti i costi di riscaldamento (in particolare negli edifici condominiali) e dando utili indicazioni agli inquilini. Il certificato contiene i dati sulle caratteristiche termiche dell'edificio e i costi energetici delle abitazioni. Per integrare la certificazione il regolamento edilizio di Bolzano ha subito due modifiche: è vietata l'installazione di microimpianti autonomi in tutti gli interventi di nuova costruzione, di risanamento e di ristrutturazione integrale di un edificio; inoltre, per tutti gli edifici residenziali di nuova costruzione e in quelli sottoposti a ristrutturazione per almeno il 50% della superficie sarà obbligatorio l'ottenimento del certificato CasaClima (per ottenere l'abitabilità gli edifici dovranno rientrare almeno nella categoria C della certificazione; per quelle che rientrano nella categoria A è invece prevista una riduzione degli oneri di urbanizzazione nella misura del 10% oltre ai benefici previsti dai regolamenti provinciali e comunali).
Tutti gli standard energetici illustrati mirano all'efficienza del comportamento energetico invernale e al contenimento dei consumi energetici dovuti al riscaldamento. Questo è motivato dal fatto che nelle regioni del centro e nord Europa, dove più attenzione è stata prestata al problema già da diversi anni, il riscaldamento è la voce maggiore di consumo, dato il clima rigido e la lunghezza del periodo freddo.

Va sottolineato che anche in Italia i consumi energetici per riscaldamento costituiscono attualmente la voce maggiore, a causa principalmente delle ridotte misure di isolamento termico (e quindi alle notevoli dispersioni termiche degli involucri).
Dunque anche per l'Italia, per ora, è il riscaldamento invernale il tema prioritario per realizzare edifici energeticamente efficienti e per ridurre le emissioni di CO_2.
È però evidente che nei climi mediterranei, e quindi anche in Italia, un altro elemento di consumo energetico è il raffrescamento estivo, soprattutto man mano che ci si sposta verso il sud dell'Italia.
Tale questione viene in questo testo trascurata per evidenziare gli interventi per ridurre i consumi da riscaldamento, che attualmente sono i maggiori e che determinano anche i maggiori impatti ambientali (soprattutto in termini di emissioni di CO_2).

CasaClima _ Bolzano

(fonte: http://www.provincia.bz.it)

categoria di consumo di calore

plus basso fabbisogno di calore

	scala
A	$HWB_{NGF} \leq 30$ kWh/(m²·a)
B	$HWB_{NGF} \leq 50$ kWh/(m²·a)
C	$HWB_{NGF} \leq 70$ kWh/(m²·a)
D	$HWB_{NGF} \leq 90$ kWh/(m²·a)
E	$HWB_{NGF} \leq 120$ kWh/(m²·a)
F	$HWB_{NGF} \leq 160$ kWh/(m²·a)
G	$HWB_{NGF} > 160$ kWh/(m²·a)

alto fabbisogno di calore

+ Più si riferisce a edifici, che vengono realizzati secondo i criteri ecologici stabiliti

Dati climatici	altitudine sul livello del mare giorni di riscaldamento HT temperatura esterna normalizzata θ_{ne} temperatura interna media θ_i gradigiorno HGT
Dati dell'edificio	volume lordo riscaldato V_B superficie dell'involucro dell'edificio A_B rapporto superficie-volume A/V superficie netta dei piani NGF_B superficie lorda dei piani BGF_B
Risultati	coefficiente medio di trasmissione globale dell'involucro dell'edificio U_m perdita di calore per trasmissione nel periodo di riscaldamento Q_T perdita di calore per ventilazione nel periodo di riscaldamento Q_V guadagni termici solari durante il periodo di riscaldamento × Q_s guadagni per carichi interni durante il periodo di riscaldamento × Q_i fabbisogno di calore per riscaldamento nel periodo di riscaldamento Q_h

Casa unifamiliare	**CasaClima A Casa da 3 litri**	**CasaClima B Casa da 5 litri**	**Standard minimo Classe C**
Pareti	0,1 -0,2	0,15-0,25	0,25-0,4
Tetto	0,1 -0,2	0,15-0,25	0,25-0,35
Solaio verso la cantina o aderente al suolo	0,2-0,3	0,25-0,35	0,4-0,6
Vetrata Ug	≤0,9	≤1,1	≤1,3
Finestra Uw	≤1,3	≤1,5	≤1,6
Ventilazione controllata con recupero del calore dall'aria di scarico	normalmente necessaria	non necessaria	non necessaria

Casa plurifamiliare	**CasaClima A Casa da 3 litri**	**CasaClima B Casa da 5 litri**	**Standard minimo Classe C**
Pareti	0,15-0,25	0,2-0,3	0,3-0,45
Tetto	0,1 -0,2	0,15-0,25	0,25-0,4
Solaio verso la cantina o aderente al suolo	0,25-0,35	0,3-0,5	0,5-0,7
Vetrata Ug	≤0,9	≤1,1	≤1,3
Finestra Uw	≤1,3	≤1,5	≤1,6
Ventilazione controllata con recupero del calore dall'aria di scarico	normalmente necessaria	non necessaria	non necessaria

Dati dell'oggetto

Oggetto:	

utilizzo dell'edificio:		edificio uni- o bifamigliare
tipo di costruzione:		costruzione media
dati climatici del comune:		Braies
differenza di altitudine rispetto al municipio del comune in m:		0
superficie lorda riscaldata nei piani in m^2	BFG_B=	
superficie netta riscaldata nei piani in m^2 (opzionale)	NGF_B=	
volume lordo riscaldato nei piani in m^3 (opzionale)	V_B=	
volume netto riscaldato nei piani in m^3 (opzionale)	V_N=	

Impianto di ventilazione

portata volumetrica d'aria mediante ventilazione forzata in m^3/h	$q_{V,f}$ =	
grado di utilizzo del sistema di recupero di calore in %	hv =	
ricambio d'aria	$n = q_{V,f} / V_N * (1 - \eta_V) + \eta_X$ =	
peso specifico dell'aria in kg/m^3	ρ_a =	1,18
capacità termica specifica dell'aria in J/kg K	c_a =	1006
somma di radiazione solare con orientamento a sud in $kWh/(m^2a)$	I_s =	611
somma di radiazione solare con orientamento a est/ovest in $kWh/(m^2a)$	$I_{O/W}$ =	390
somma di radiazione solare con orientamento a nord in $kWh/(m^2a)$	I_N =	234
somma di radiazione solare con orientamento orizzontale in $kWh/(m^2a)$	$I_{horizontal}$=	653
numero di giorni di riscaldamento nel periodo di riscaldamento in d/a	H_T =	263
temperatura media interna in °C	θ_i =	20,0
temperatura esterna in progetto in °C	θ_{ne} =	-20,0
temperatura media esterna nel periodo di riscaldamento in °C	θ_e =	1,97
gradi-giorno nel periodo di riscaldamento in Kd/a	HGT =	4733
protenza termica media degli apporti di calore interni	q_i =	3,5
grado di utilizzo degli apporti di calore	η =	0,98

Calcolo del coefficiente di trasmissione del calore (trasmittanza U)

Oggetto:	

elemento strutturale 1		parete esterna-tipo 1
trasmittanza U secondo perizia in $W/(m^2K)$		< senza perizia vedi sotto

trasmittanza U secondo stratigrafia in $W/(m^2K)$

Nr.	Materiale	λ W/(mK)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

stratigrafia dell'elemento

sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. Identificativo del materiale)

strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale

	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	parte [%]
a													100
(optionale) b													
(optionale) c													
(optionale) d													
													100
rispettivo spessore d dello strato [cm]													

esterno — interno

inserire per cortesia > | $R_{si} + R_{se}$ | |

$U = 1/ (R_{si} + R_t + R_{se})$ | U = | $W/(m^2K)$

CasaClima — Bolzano

(fonte: http://www.provincia.bz.it)

Calcolo del calore disperso per trasmissione

Oggetto:

elemento strutturale

elemento strutturale	denominazione	A_{brutto} m²	A_j m²	$U_{i,vorh}$ W/(m²k)	f_i 1	$A_i*U_i*F_i$ W/K
1	parete esterna - tipo 1				1,00	
2	parete esterna - tipo 2				1,00	
3	parete esterna - tipo 3				1,00	
4	parete esterna - tipo 4				1,00	
5	solaio esterno				1,00	
6	tetto a falda				1,00	
7	parete verso scantinato non riscaldato				0,50	
8	solaio verso scantinato non riscaldato				0,50	
9	parete verso sottotetto non riscaldato				0,90	
10	solaio verso sottotetto non riscaldato				0,90	
11	parete verso serra in vetro non riscaldata					
12	parete verso vano scale non riscaldato				0,50	
13	parete verso autorimessa sotterranea				0,80	
14	solaio verso autorimessa sotterranea				0,80	
15	parete verso un vano non riscaldato				0,50	
16	solaio verso un vano non riscaldato				0,50	
17	parete contro terreno				0,60	
18	solaio contro terreno				0,50	
19					1,00	
20					1,00	
21					1,00	
22					1,00	
23					1,00	
24					1,00	
25					1,00	
26					1,00	
27					1,00	
28					1,00	
29					1,00	
30					1,00	
					somma:	

Annotazione: Abrutto contiene le aree degli elementi strutturali incluso le finestre e le porte

finestre

finestre	denominazione	A_j m²	$U_{i,m}$ W/(m²k)	f_i 1	$A_i*U_i*F_i$ W/K
F1	finestre - tipo 1			var.	
F2	finestre - tipo 2			var.	
F3	finestre - tipo 3			var.	
F4	finestre - tipo 4			var.	
F5	finestre - tipo 5			var.	
F6	finestre - tipo 6			var.	
				somma:	

porte (non vetrate)

porte	denominazione	A_j m²	$U_{i,m}$ W/(m²k)	f_i 1	$A_i*U_i*F_i$ W/K
T1	porte - tipo 1			var.	
T2	porte - tipo 2			var.	
T3	porte - tipo 3			var.	
T4	porte - tipo 4			var.	
T5	porte - tipo 5			var.	
T6	porte - tipo 6			var.	
				somma:	

aumento per ponti termici rappresentati da balconi sporgenti

balcone	denominazione	muri	in elemento strutturale	lunghezza m	ψ_i W(mK)	$y_i* l_i$ W/K
B1	balcone - tipo 1					
B2	balcone - tipo 2					
B3	balcone - tipo 3					
B4	balcone - tipo 4					
					somma:	

finestre

Oggetto:	

finestre	valore g	largezza del serramento in cm	U_w secondo certificato di prova in $W/(m^2K)$	calcolo di Uw senza certificato di prova			
				numero ante	Aumento per ponti termici dovuto alla seguente combinazione dei materiali	U_f in $W/(m^2K)$	U_g in $W/(m^2K)$
F1							
F2							
F3							
F4							
F5							
F6							

quantità 1	finestre F1 - F6	In elemento strutturale 1-30	orientamento	ombreggiato	larghezza m	altezza m	A_w m^2	A_g m^2	U_w $W/(m^2K)$	A_w*U*f W/K

tabella 1	Aumento lineare per ponte termico tra serramento e vetro	
Valori ψg	doppio / triplo vetro senza pellicola	doppio / triplo vetro con pellicola
serramento in legno o in materiale plastico	0,04	0,06
serramento mettallico isolato	0,06	0,08
serramento mettallico non isolato	/	0,02

tabella 2	Coefficienti di trasmissione del calore e gradi di utilizzazione dell'energia totale per vetro			
denominazione	struttura	gas di riempimento	Ug	valore g
Vetrata semplice	6	/	5,8	0,83
Vetrata trasparente isolante a due strati	6/8/6	/	3,2	0,71
Vetrata trasparente isolante a due strati	6/12/6	/	2,9	0,71
Vetrata trasparente isolante a due strati	6/16/6	/	2,7	0,72
Vetrata trasparente a due strati	6/30/6	/	2,7	0,72
Vetrata trasparente isolante a tre strati	6/12/6/12/6	/	1,9	0,63
Vetrata termoisolante a due strati rivestita	4/16/4	Aria	1,5	0,61
Vetrata termoisolante a due strati rivestita	4/15/6	Argon	1,1	0,61
Vetrata termoisolante a due strati rivestita	4/12/4	Krypton	1,1	0,62
Vetrata termoisolante a due strati rivestita	4/12/4	Xenon	0,9	0,62
Vetrata termoisolante a tre strati rivestita	4/8/4/8/4	Krypton	0,7	0,48
Vetrata termoisolante a tre strati rivestita	4/8/4/8/4	Xenon	0,5	0,48
Vetrata riflettente a due strati	6/15/6	Argon	1,1	0,25
Vetrata riflettente a due strati	6/12/4	Argon	1,4	0,27
Vetrata riflettente a due strati	6/15/6	Argon	1,3	0,29
Vetrata riflettente a due strati	6/15/4	Argon	1,4	0,33
Vetrata riflettente a due strati	6/12/4	Argon	1,4	0,39
Vetrata riflettente a due strati	6/12/4	Argon	1,4	0,44
Vetrata riflettente a due strati	6/15/6	Argon	1,3	0,48

Nota: valori di riferimento per elementi trasparenti (grado minimo di riempimento gas 90% - diffusione del gas non considerata)

tabella 3	Coefficienti di trasmissione del calore per telaio in legno	
spessore d_f in mm	U_f $W/(m^2K)$	
	Legno morbido (500 kg/m³) λ = 0,13 W/(mK)	Legno duro (700 kg/m³) λ = 0,18 W/(mK)
30	2,3	2,70
50	2,0	2,35
70	1,8	2,05
90	1,6	1,85
110	1,4	1,65

tabella 4	Coefficienti di trasmissione di calore per telai in materiale plastico	
materiale	tipo serramento	U_f $W/(m^2K)$
Polyuretano		2,6
Profili tubolari in PVC	2 camere	2,2
	3 camere	2,0

tabella 5	Coefficienti di trasmissione di calore per telai in metallo	
	distanza minima degli elementi in alluminio in mm	U_f $W/(m^2K)$
senza taglio termico	/	6,0
con taglio termico	4	4,0
con taglio termico	8	3,6
con taglio termico	12	3,2
con taglio termico	20	2,8
con taglio termico	28	2,6

CasaClima – Bolzano

(fonte: http://www.provincia.bz.it)

CasaClima – Bolzano

(fonte: http://www.provincia.bz.it)

Risultati dei calcoli	
Oggetto:	

Involucro dell'edificio		
superficie di dispersione termica dell'involucro dell'edificio $A_B = \Sigma A_i$	A_B =	m^2
rapporto superficie dell'involucro riscaldato volume lordo riscaldato A_B / V_B	A / V =	1/m

coefficiente medio di trasmissione globale		
coefficiente medio di trasmissione globale dell'involucro dell'edificio $U_m = L_T / A_B$	U_m =	$W/(m^2K)$

Guadagni e perdite di calore riferito al comune di appartenenza Braies		
perdita di calore per trasmissione nel periodo di riscaldamento $Q_T = 0{,}024 * L_T * HGT$	Q_T =	kWh/a
perdita di calore per ventilazione nel periodo di riscaldamento $Q_V = 0{,}024 * L_V * HGT$	Q_V=	kWh/a
guadagni per carichi interni durante il periodo di riscaldamento $Q_i = 0{,}024 * q_i * NGF_B * HT$	Q_i =	kWh/a
guadagni termici solari durante il periodo di riscaldamento $Q_S = \Sigma I_j * (\Sigma A_g * f_S * g_W)_j$	Q_S =	kWh/a
rapporto tra guadagni termici e perdite di calore $\gamma = (Qs + Qi) / (QT + QV)$	γ =	%

Fabbisogno di calore e potenza per riscaldamento riferito al comune di appartenenza Braies		
fabbisogno di calore per riscaldamento nel periodo di riscaldamento $Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta * (Q_i + Q_S)$	Q_h =	kWh/a
potenza di riscaldamento dell'edificio $P_{tot} = (L_T + L_V) * (\theta_i - \theta_{ne})$	P_{tot}=	kW
potenza specifica di riscaldamento relativa alla superficie netta $P_1 = P_{tot} / NGF_B$	**P_1 =**	**W/m^2**
fabbisogno di calore per riscaldamento specifico alla superficie netta $HWB_{NGF,vorh} = Q_h/NGF_B$	**$HWB_{NGF,vorh}$ =**	**$kWh/(m^2a)$**

Fabbisogno di calore e potenza per riscaldamento riferito a Bolzano		
fabbisogno di calore per riscaldamento nel periodo di riscaldamento $Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta * (Q_i + Q_S)$	Q_h =	kWh/a
potenza di riscaldamento dell'edificio $P_{tot} = (L_T + L_V) * (\theta_i - \theta_{ne})$	P_{tot}=	kW
potenza specifica di riscaldamento relativa alla superficie netta $P_1 = P_{tot} / NGF_B$	**P1 =**	**W/m^2**
fabbisogno di calore per riscaldamento specifico alla superficie netta $HWB_{NGF,vorh} = Q_h/NGF_B$	**$HWB_{NGF,vorh}$ =**	**$kWh/(m^2a)$**

Categoria termica dell'edificio	
	A

INCENTIVI PER L'ISOLAMENTO TERMICO IN ITALIA

1.4

Nonostante il tema della sostenibilità ambientale sia un tema che deve essere affrontato a livello globale, tramite strategie e politiche coordinate, la capacità di attivare strategie dipende dalla scala locale. Agire a livello locale consente di identificare gli interlocutori e i responsabili. Inoltre ogni località ha problemi specifici pur all'interno di politiche di indirizzo comuni.
L'importanza della contestualizzazione si riflette anche nella valutazione ambientale. Infatti la compatibilità ambientale di un prodotto o di un edificio non può essere valutata in termini assoluti, ma deve essere valutata in relazione al contesto geografico di appartenenza, alle specificità d'uso e alle caratteristiche produttive di tipo locale.

Molte Pubbliche Amministrazioni italiane hanno cominciato a introdurre criteri di sostenibilità ambientale all'interno dei propri regolamenti edilizi.
Purtroppo ad oggi sono ancora pochi i regolamenti che hanno affrontato il tema in maniera integrale, ossia prendendo in considerazione diversi parametri di valutazione ambientale che coinvolgano i tipi di materiali utilizzati, i consumi di acqua, la salvaguardia paesaggistica e territoriale. Il minimo comun denominatore presente in tutti i regolamenti che si siano fregiati di avere adottato indirizzi di sostenibilità ambientale è la promozione di risparmio energetico tramite l'incremento del livello di isolamento termico dell'involucro dell'edificio.
Infatti, dal momento che per adesso i consumi energetici incidono per il 70-80% sugli impatti ambientali generati dall'edificio nel suo ciclo di vita (cfr. § 3.2), al risparmio energetico viene attribuito un ruolo di primo piano per la salvaguardia ambientale.
Se in una prima fase gli obiettivi di risparmio energetico si sono concentrati sulla promozione di tecnologie di produzione energe-

tica alternative e rinnovabili (come il solare termico e il fotovoltaico) ponendo l'accento soprattutto sulla riduzione dei consumi di combustibili fossili a causa della progressiva scarsità di risorse, oggi appare invece di primaria importanza la riduzione dell'inquinamento e quindi risulta fondamentale, in un'ottica di sostenibilità, contenere il fabbisogno energetico in modo da non dover produrre energia (in qualsiasi forma).
L'isolamento termico, assieme ad altre strategie progettuali di tipo "passivo" (cfr. § 2.1), risulta dunque obiettivo primario in un'ottica sostenibile. L'efficacia di strategie di sfruttamento passivo dell'energia solare dipendono dall'adeguatezza dell'involucro e della forma dell'edificio a "risparmiare" energia in uscita e ottimizzare l'energia entrante. Di conseguenza è proprio l'isolamento termico la misura più incentivata dai regolmenti edilizi locali.

LOMBARDIA

La Regione Lombardia ha promulgato la L.R. n. 26 del 20 aprile 1995 (*Nuove modalità di calcolo delle volumetrie edilizie e dei rapporti di copertura limitatatamente ai casi di aumento degli spessori dei tamponamenti perimetrali e orizzontali per il perseguimento di maggiori livelli di coibentazione termo-acustica o di inerzia termica*) con cui stabilisce che le parti eccedenti i 30 cm non vengono considerate nei computi per la verifica dei parametri urbanistici fino a un massimo di 25 cm per gli elementi verticali e di copertura e di 15 cm per gli elementi orizzontali intermedi, se il maggiore spessore contribuisce al miglioramento dei livelli di coibentazione termica, acustica o di inerzia termica.
Di particolare interesse è la recente L.R. n. 39 del 21 dicembre 2004 (*Norme per il risparmio energetico negli edifici e per la riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti*), volta al contenimento dei consumi di energia degli edifici, attraverso il miglioramento delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi e degli impianti termici, e allo sviluppo dell'uso di fonti rinnovabili di energia. Uno degli obiettivi principali della legge è il miglioramento delle caratteristiche termofisiche degli involucri edilizi in ordine alle dispersioni di calore. In particolare per gli edifici di nuova costruzione e per le ristrutturazioni totali degli edifici, per i quali si applicano le verifiche previste dalla legge n. 10 del 9 gennaio 1991, il coefficiente di dispersione volumica per conduzione (Cd) deve essere inferiore al 25% del limite massimo fissato dal decreto interministeriale 30 luglio 1986 (*Aggiornamento dei coefficienti di dispersione termica degli edifici*) (cfr. § 3.1). È lasciata facoltà ai Comuni di deliberare il rispetto di limiti superiori alle dispersioni di calore dei singoli componenti degli involucri edilizi. Le serre bioclimatiche e le logge chiuse per lo sfrut-

tamento dell'energia solare passiva vengono considerati volumi tecnici e quindi non computati nella volumetria. Altrettanto per i sistemi di captazione e sfruttamento dell'energia solare passiva (pareti ad accumulo, muri collettori).
La nuova legge regionale prevede inoltre che la L.R. n. 26 del 20 aprile 1995 integri, tra gli elementi da non considerare nel computo per la determinazione dei volumi, l'aumento di volume prodotto dagli aumenti di spessore di murature esterne per la realizzazione di pareti ventilate.

San Donato Milanese ha indetto un concorso di assegnazione di aree di edilizia economico-popolare per nuove costruzioni caratterizzate da una particolare attenzione alle scelte dei materiali costruttivi, al risparmio energetico e a scelte che in generale si avvicinano a un concetto di costruzione attenta al rispetto per l'ambiente.

Il comune di **Carugate** ha adottato parametri di risparmio energetico nel proprio piano regolatore. In particolare, rispetto alla questione dell'isolamento termico dell'involucro, ha fissato rigidi limiti di trasmittanza termica:
- 0,35 W/m^2K per le chiusure verticali;
- 0,30 W/m^2K per le coperture (piane e a falde);
- 0,50 W/m^2K per solai contro terra;
- 0,35 W/m^2K per primi solai su pilotis;
- 0,70 W/m^2K per serramenti (media tra vetro e telaio).

Per rispettare tali valori di trasmittanza termica occorrerà fare riferimento a spessori di isolamento di almeno 8-10 cm per le chiusure verticali, 10 cm per le coperture e 5 cm per i solai contro terra.

La Commissione per l'Edilizia Sperimentale e Innovativa del **Comune di Bergamo** si sta interessando ai temi della sostenibilità, cercando di integrarne le strategie all'interno del proprio Piano Regolatore. Per fare questo prende spunto da altre esperienze, come quelle del comune di Faenza, di San Donato Milanese, di Padova.

EMILIA-ROMAGNA

La Regione Emilia-Romagna già nel 2001 ha emesso un documento contenente i "Requisiti volontari e incentivi per una edilizia ecosostenibile e bioclimatica", in cui sono elencati una serie di requisiti relativi al benessere ambientale e sull'uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche: in particolare, per quanto riguarda il risparmio energetico nel periodo invernale, si vuole incentivare la riduzione delle

dispersioni termiche dell'involucro tramite maggiori livelli di isolamento termico.
La nuova L.R. n. 26 del 23 dicembre 2004 sull'energia (*Disciplina della programmazione energetica territoriale ed altre disposizioni in materia di energia*) intende promuovere il risparmio energetico in campo residenziale attraverso un complesso di azioni dirette a migliorare il rendimento energetico dei processi, dei prodotti e dei manufatti che trasformano e utilizzano energia.
Come iniziativa particolare all'interno della Regione va segnalato che con delibera comunale 2/2/99 il **comune di Faenza** ha ridotto gli oneri di urbanizzazione del 20% per gli interventi caratterizzati da risparmio energetico.

TOSCANA

Il **comune di Calenzano**, in provincia di Firenze, ha approvato nel gennaio del 2003 un regolamento con "Agevolazioni e incentivi per la promozione della qualità e della sostenibilità in edilizia". Le costruzioni che rispetteranno i requisiti di qualità e sostenibilità indicati accederanno alla riduzione degli oneri di urbanizzazione e a incrementi volumetrici. Questo significa che ai fini del calcolo delle volumetrie urbanistiche e delle superfici coperte e utili lorde sono esclusi gli extraspessori murari che assolvono a funzioni di isolamento. Sono inoltre esclusi superfici e volumi finalizzati al comfort ambientale e al risparmio energetico attraverso lo sfruttamento del massimo soleggiamento durante la stagione fredda (come serre solari e verande non riscaldate, disposte da sudest a sudovest), per un volume non superiore al 20% di quello riscaldato. I progetti devono essere accompagnati da una specifica relazione contenente il calcolo dell'energia risparmiata. I benefici possono arrivare ad un risparmio del 70% sugli oneri di urbanizzazione (che ammontano a circa 50 euro al metro quadrato). Le linee guida proposte sono il recepimento della legge regionale Toscana n. 5 del 1995 sui temi della sostenibilità.
Nel 1998 il **comune di Civitella**, in provincia di Grosseto, ha approvato uno strumento urbanistico che prevede: esclusiva realizzazione di costruzioni pianificate, progettate e realizzate con materiali, tecnologie, sistemi energetici eco-compatibili; integrazione ambientale globale del costruito e delle attività annesse all'ambiente agricolo circostante mediante specifiche e dettagliate Norme Tecniche di Attuazione; oneri amministrativi (urbanizzazione e concessione) in quota pari al 10% della quota prevista per legge; esenzione computo superficie e volumetria per orizzontamenti (verticali e orizzontali) con spessore >30 cm in presenza di idonei materiali che possiedano caratteristiche di traspirabilità, igroscopicità, coibenza termica ed acustica.

MARCHE

A ottobre del 2000 è stato organizzato un concorso pilota per la progettazione di un edificio residenziale popolare di 15 alloggi a **Jesi** secondo i principi dell'edilizia *bioecologica*. Il bando di concorso, steso con la partecipazione di ANAB e INBAR, aveva la caratteristica di poter essere riproducibile, in modo da diventare una sorta di bando-tipo e inoltre si era stabilito di realizzare delle analisi sull'edificio nel lungo periodo in modo da valutare l'efficacia delle soluzioni in termini di benessere degli abitanti, risparmio energetico, impatto sull'ambiente e controllo dei costi. L'obiettivo espresso dal bando è l'utilizzo di «tecnologie che minimizzino gli effetti negativi sulla salute ed aumentino il benessere degli utenti»; viene inoltre sottolineato che «risulta fondamentale il controllo del costo degli edifici non solo al momento della costruzione ma durante un intero ciclo di vita utile del fabbricato di almeno un quarantennio».

La Regione Marche e il Collegio Costruttori Edili della **Provincia di Ancona** stanno promuovendo diverse iniziative riguardo alla bioarchitettura e alla qualità dell'abitare: sono stati presi in considerazione strumenti urbanistici che comprendano i principi della bioarchitettura, linee guida per la progettazione, l'inserimento di apposite norme nei regolamenti edilizi.

LAZIO

Nel 2003 la Regione Lazio ha preso in esame una proposta di legge che ha come oggetto norme per la promozione e lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e per il contenimento degli sprechi idrici e che dovrebbe essere applicata a tutti gli edifici di nuova costruzione e agli edifici oggetto di manutenzione strordinaria. La Regione si propone di "migliorare le condizioni ambientali di vita mediante l'uso razionale delle risorse energetiche e idriche" e a tal fine promuove interventi volti a migliorare il rendimento energetico degli edifici. Oltre all'uso di pannelli solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e a sistemi di recupero delle acque piovane, viene promosso un maggiore isolamento termico per garantire il risparmio energetico: "nel calcolo della volumetria delle costruzioni non saranno conteggiati gli spessori murari, delle pareti esterne e interne e dei solai, superiori a 30 cm per incentivare l'uso di maggiori isolamenti termici e l'utilizzo di murature ad alta inerzia termica".

EDIFICI A BASSO CONSUMO ENERGETICO

SEZ 2

Di fronte all'aumento dei consumi e alla scarsità di risorse la ricerca tenta di trovare nuove risposte impegnandosi sul versante dell'ottimizzazione del rendimento energetico e dell'individuazione di fonti energetiche alternative. Questa ricerca si concilia pienamente con gli obiettivi di uno sviluppo sostenibile poiché tende a diminuire il consumo di risorse a parità di benessere conseguito e a ridurre gli impatti ambientali grazie all'utilizzo di nuove fonti energetiche 'pulite'.

Ma esiste un altro versante spesso trascurato e invece centrale per la sostenibilità: la ricerca di soluzioni che garantiscano risparmi energetici. Appare infatti più sensato ridurre a monte la domanda piuttosto che correre ai ripari per garantire una offerta adeguata e sufficiente.

Dopo diversi anni di ricerca e sperimentazione sul tema del risparmio energetico, soprattutto nel nord Europa, si stanno ora affermando regolamenti a livello internazionale e nazionale volti al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici attraverso l'uso razionalizzato delle fonti primarie, l'utilizzo di fonti rinnovabili e il risparmio energetico (la direttiva europea EPBD 2002/91/CE; la legge 10/91 per la quale sono attualmente in elaborazione i decreti applicativi dell'art. 4 finalizzati alla definizione di limiti prestazionali relativi ai consumi energetici e alle proprietà fisico-tecniche dell'involucro).

Ma oltre agli incentivi e agli obblighi normativi, traino efficace per orientare il settore delle costruzioni dovrebbe diventare l'utente finale, ossia chi abita l'edificio. Infatti il risparmio energetico porta con sé non solo vantaggi ambientali, ma anche vantaggi economici nella fase di gestione e uso. Di conseguenza è chi utilizza e abita l'edificio che dovrebbe essere informato sui vantaggi di edifici caratterizzati da soluzioni volte al risparmio energetico, nell'obiettivo di formare e orientare la domanda del mercato a esprimere tra

le proprie esigenze anche il risparmio energetico.
Per promuovere la conoscenza e l'informazione in materia di risparmio energetico si sono sviluppate le certificazioni energetiche degli edifici e le forme di etichettatura energetica degli edifici.
Per quanto riguarda il livello progettuale, l'approccio promosso è l'approccio prestazionale, che non prevede prescrizioni costruttive o tecnologiche, ma la definizione di prestazioni limite da raggiungere e benchmark (soluzioni ottimali di riferimento) con cui confrontarsi.
Occorre sottolineare che ovviamente l'obiettivo di risparmio energetico deve essere affiancato a quello della ricerca di comfort e salubrità.

PARADIGMI PROGETTUALI E SOLUZIONI TECNICHE PER IL RISPARMIO ENERGETICO

2.1

La presa di coscienza degli sprechi energetici determinati da edifici in cui il benessere abitativo viene garantito dalla costruzione artificiale delle condizioni interne tramite l'uso di impianti tecnologici sta spostando l'attenzione dei progettisti da una dotazione impiantistica sempre più pervasiva e sofisticata a una progettazione intelligente dell'edificio, inteso come filtro di flussi di energia in scambio con l'ambiente.

La progettazione volta al risparmio energetico deve saper controllare tre livelli: ambientale, tipologico e tecnico-costruttivo.
Per quanto attiene il controllo degli aspetti relativi al rapporto tra edificio e ambiente, occorre:
- una progettazione attenta al clima locale, che tenga conto delle diverse condizioni stagionali (temperatura, umidità relativa, ventosità, irraggiamento solare; desumibili dalla norma UNI 10349 sui *Dati climatici*);
- una progettazione in relazione al sito, che tenga conto dell'ombreggiamento per la presenza di ostruzioni e che sfrutti alcune condizioni al contorno (per esempio la presenza di alberi per l'ombreggiamento estivo);
- una progettazione in relazione al sito, che tenga conto delle caratteristiche dell'area (morfologia, presenza di elementi di inquinamento acustico o ambientale, presenza di corsi d'acqua)
Per quanto attiene il controllo degli aspetti tipologici, i fattori che incidono sul comportamento energetico dell'edificio sono:
- la forma compatta (più vantaggioso rapporto tra superficie e volume);
- l'orientamento e la distribuzione interna delle unità abitative e dei singoli locali costituenti l'edificio, tenendo conto della destinazione d'uso;
- la distribuzione, l'orientamento e i sistemi di protezione delle

il controllo ambientale

Reyner Banham (1969) individua tre modalità di controllo ambientale operato nelle costruzioni per garantire il comfort climatico:
- il modello conservativo, in cui l'edificio è realizzato con murature spesse e massicce (elevata massa termica), in modo da opporre alle condizioni esterne (climi freddi o caldi) un comportamento 'conservativo' dell'ambiente interno, ossia di mantenimento delle condizioni termiche (inerzia termica)
- il modello selettivo, in cui l'edificio filtra le condizioni ambientali esterne attraverso gli elementi costruttivi del suo involucro (finestre, schermature), in modo da favorire la ventilazione (climi umidi) e impedire il surriscaldamento
- il modello rigenerativo, in cui l'edificio viene climatizzato grazie al ricorso a impianti, dunque producendo artificialmente le condizioni interne desiderate, indipendentemente dal clima in cui è collocato e senza particolari accorgimenti tecnico-costruttivi

Si potrebbero ricondurre tali modalità a due orientamenti fondamentali di climatizzazione degli ambienti interni:
- metodi passivi, che puntano sugli aspetti costruttivi, da un lato isolando l'edificio dall'esterno e utilizzando componenti della costruzione caratterizzati da elevata massa termica (modello conservativo) in modo da conservare d'inverno il calore diurno durante la notte e d'estate il fresco notturno durante il giorno e dall'altro lasciando entrare il calore attraverso le parti vetrate d'inverno, ma proteggendo l'edificio in estate tramite aggetti e schermature (modello selettivo)
- metodi attivi, che si affidano prevalentemente all'utilizzo di impianti che creino le condizioni di comfort adeguando la propria fornitura in relazione alle dinamiche climatiche esterne (modello rigenerativo).

Occorre sottolineare come oggi si renda necessario orientarsi verso i metodi passivi, per cercare di contenere i consumi energetici.

superfici trasparenti, il loro rapporto con la superficie opaca, in relazione allo sfruttamento degli apporti solari diretti nel periodo invernale e al controllo dell'irraggiamento nel periodo estivo e all'ottenimento di un adeguato livello di illuminazione naturale;
- la presenza di elementi come aggetti e schermature, porticati o logge o serre (spazi filtro) ad assetto variabile tra inverno ed estate.

Per quanto attiene il controllo degli aspetti tecnico-costruttivi, i fattori che incidono sul comportamento energetico dell'edificio sono:
- la presenza di un efficace isolamento termico e di finestre ad alte prestazioni termiche;
- l'uso passivo dell'energia solare per lo sfruttamento degli apporti solari in manie-

ra diretta o indiretta (finestre, accumulatori di calore) ;
- l'integrazione di tecnologie solari attive (collettori solari, pannelli fotovoltaici);
- l'uso di tecnologie ad alto rendimento (pompe di calore, celle a combustione, corpi d'illuminazione e elettrodomestici a basso consumo energetico, ecc.).
Dunque orientamento dell'edificio, forma dell'edificio, caratteristiche dell'involucro e scelte impiantistiche sono gli aspetti su cui deve concentrarsi maggiormente il progettista.
Un edificio che sfrutta le caratteristiche al contorno è un **edificio 'passivo'**, da distinguersi rispetto a quegli edifici che costruiscono artificialmente (e dunque in maniera 'attiva') il comfort all'interno degli ambienti (e da non confondersi con il termine 'passivhaus', che fa riferimento a uno standard energetico, come verrà spiegato in seguito in questo paragrafo).

Orientamento dell'edificio

L'edificio passivo cerca di coprire la maggior parte del fabbisogno energetico tramite gli apporti solari e pertanto questi edifici sono normalmente esposti con il lato maggiore verso Sud. Il lato sud riceve la massima radiazione invernale (bassa e dunque entrante) mentre d'estate la superficie più colpita è la copertura e le superfici a est e a ovest (all'alba e al tramonto). Il lato nord invece non riceve mai il sole e dunque la sua superficie d'involucro dovrebbe prevedere aperture ridotte al mini-

maggiorazioni per esposizione (fonte: norma UNI 7357)

Per la definizione del fabbisogno termico di un edificio la norma UNI 7357 prevede delle maggiorazioni di cui si deve tenere conto nel calcolo delle dispersioni.
La correzione per esposizione tiene conto dell'irraggiamento solare diretto, del diverso grado di umidità delle pareti e della diversa velocità e temperatura dei venti.
I valori, espressi come percentuale di maggiorazione, vengono applicati alle dispersioni per conduzione attraverso l'involucro.

Sud	0%
Sud-Ovest	2-5%
Ovest	5-10%
Nord-Ovest	10-15%
Nord	15-20%
Nord-Est	15-20%
Est	10-15%
Sud-Est	5-10%

mo per evitare dispersioni e un incremento dell'isolamento termico.

Forma dell'edificio

Le caratteristiche che definiscono la forma dell'edificio e che incidono sulla valutazione del comportamento energetico sono (Serra, Coch, 1997):
- compattezza,
- porosità,
- snellezza.

La compattezza è il rapporto tra superficie esterna dell'involucro e volume dell'edificio. Si ottiene un coefficiente, dove la massima compattezza tende a zero. A una maggiore compattezza corrisponde un minor contatto con le condizioni esterne: da un lato ciò implica una minore possibilità di captare la radiazione solare, dall'altro una minore possibilità di dissipare energia (ideale per climi freddi). Negli edifici compatti risulta però più difficile la ventilazione e l'illuminazione degli spazi centrali.
Per favorire la compatezza del volume riscaldato risulta conveniente collocare vani scala e balconi all'esterno del volume riscaldato dell'edificio.

La porosità è la proporzione tra volume pieno e volume vuoto dell'edificio dato dalla presenza di patii (volumi cavi la cui superficie aperta a contatto con l'esterno sia inferire a 1/6 della somma delle superfici di tutte le chiusure del patio, inclusa la superficie aperta) e viene calcolata come rapporto tra volume totale dei patii e volume totale dell'edificio. Un edificio con un elevato grado di porosità risulta dotato di molte superfici di scambio con l'esterno: da un lato questo significa una maggiore difficoltà di isolamento dalle condizioni esterne, dall'altro però risulta più facile ventilare le zone interne (ideale per climi caldi).

La snellezza è la proporzione dell'edificio rispetto al suo sviluppo in verticale e viene calcolata come rapporto tra volume totale dell'edificio e il raggio della superficie media della pianta. Un edificio snello ha un ridotto contatto con il terreno e una elevata esposizione agli agenti atmosferici; non è dunque particolarmente consigliabile dal punto di vista energetico; subentrano invece considerazioni legate all'occupazione del terreno e dunque alla compattazione urbana.

Alle nostre latitudini la compattezza è vantaggiosa nel periodo invernale, mentre la porosità è vantaggiosa nel periodo estivo: occorrerebbe progettare elementi di chiusura ad assetto variabile che possano permettere la chiusura di atrii, patii, gallerie e verande nel periodo invernale, garantendone l'apertura nel periodo estivo.

calore: energia termica (Q); unità di misura: caloria: quantità di energia termica necessaria per aumentare di un grado Kelvin la temperatura di un grammo di acqua (1cal = 4,18 J)

potenza termica: energia termica scambiata nell'unità di tempo (W = Q/t); unità di misura: watt (1 kcal/h = 1,16 W)

calore specifico di un materiale: quantità di energia termica necessaria per innalzare di un grado Kelvin la temperatura di un grammo di materiale (Ce); unità di misura: J/kgK (1 kcal/kgK = 4,180 J/kgK)

capacità o massa termica: in un corpo di massa m, quantità di calore necessaria per innalzare di un grado Kelvin la temperatura; unità di misura: J/K (1 kcal/K = 4,180 J/K)

I materiali componenti una parete che separa due ambienti a temperature differenti offrono una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua 'facilità' a trasmettere il calore (trasmittanza). La resistenza termica totale di una parete sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo. La conduttività o conducibilità termica di un materiale indica il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato di materiale in presenza di una differenza di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità (densità) e dal contenuto igrometrico del materiale.

resistenza termica (R) (unità di misura: m^2K/W)
$R = s/\lambda$
s è lo spessore (unità di misura: m)
λ è la conducibilità termica del materiale (unità di misura: W/mK)

Normalmente per valutare il comportamento di un paramento come barriera termica, si utilizza la trasmittanza globale interno-esterno (U), ossia la grandezza che misura la quantità di calore per unità di tempo, cioè la potenza termica, che passa attraverso un metro quadrato di involucro quando tra le due facce vi sia una differenza di temperatura di 1 grado Kelvin.

trasmittanza termica (U) (unità di misura: W/m^2K)
coefficiente di trasmissione del calore globale interno-esterno
$U = 1/R$

Con questo coefficiente è possibile calcolare il flusso di calore che attraversa un elemento di involucro di superficie A, quando vi sia una differenza di temperatura tra l'aria interna (Ti) e l'aria esterna (Te).

flusso di calore (Q) (unità di misura: W)
$Q = U \bullet A \bullet (Ti - Te)$

materiali e calore

(fonte: Butera, 1995)

massa volumica: ρ (kg/m^3)
conduttività termica: λ (W/mK)
calore specifico: c (kJ/kgK)

	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	c (kJ/kgK)
aria (in quiete)	1	0,026	-
calcestruzzo			
di sabbia e ghiaia	1600	0,700	0,88
di sabbia e ghiaia	2400	1,910	0,88
di argilla espansa	500	0,160	0,88
di argilla espansa	1700	0,750	0,88
cellulare	400	0,150	0,88
cellulare	800	0,250	0,88
laterizio			
laterizio	600	0,250	0,84
laterizio	1400	0,500	0,84
laterizio	2000	0,900	0,84
legno			
abete	450	0,120	1,38
pino	550	0,150	1,66
acero	720	0,180	1,22
quercia	850	0,220	1,26
metalli			
acciaio	7800	52,000	1,99
alluminio	2700	209,000	0,89
piombo	11300	35,000	0,54
rame	8900	380,000	1,61
rocce			
ardesia	2700	2,000	1,26
basalto	2800	3,500	1,30
granito	2500	3,200	0,88
isolanti			
di vetro (morbido)	20	0,043	0,67
di vetro (rigido)	30	0,040	0,67
di roccia (morbido)	40	0,042	0,67
di roccia (rigido)	80	0,039	0,67
poliuretano espanso	35	0,035	1,60
polistirolo espanso	15	0,054	1,22
intonaco			
gesso	1200	0,350	1,09
sabbia e gesso	1400	0,700	1,01
calce	1800	0,900	0,91
cemento	2000	1,400	0,67
cartongesso	900	0,210	1,09
riempimenti			
argilla espansa	330	0,100	0,92
perlite espansa	100	0,066	1,34

conduttività termica e materiali

λ (W/mK)	
400,00	rame (380) alluminio (290)
200,00	acciaio (52)
1,00	pietre naturali (2,00 - 3,50)
0,90	cls di sabbia e ghiaia (0,70 - 1,91)
0,80	laterocemento (0,80)
0,70	intonaci (0,35 - 0,90)
0,60	impermeabilizzazioni (0,20 - 1,40)
0,50	laterizio (0,25-0,90)
0,40	cls di argilla espansa (0,16 - 0,75)
0,30	calcestruzzo cellulare (0,15 - 0,25)
0,20	legno (0,12 - 0,22)
0,10	
0,05	polistirolo espanso (0,054) lana di vetro (0,040 - 0,043)
0,01	lana di roccia (0,039 - 0,042)

Distribuzione degli ambienti all'interno dell'edificio

I locali che vengono 'vissuti' durante il giorno, come soggiorno, ma anche camere da letto, vanno collocati verso sud, dove godono di comfort termico e aperture più ampie. I locali di servizio invece dovrebbero essere collocati verso nord, dove le aperture dovrebbero essere di minori dimensioni e la temperatura tende a essere inferiore per l'assenza di apporti solari.

Caratteristiche dell'involucro

Le caratteristiche che definiscono il comportamento energetico dell'involucro sono (Serra, Coch, 1997):

- interramento,
- addossamento,
- pesantezza,
- permeabilità,

- trasparenza,
- isolamento,
- rugosità,
- texture,
- colore,
- assetto variabile.

L'interramento indica il grado di contatto delle superfici dell'involucro dell'edificio con il terreno. In un edificio interrato si ha una maggiore inerzia termica: infatti l'edificio si trova a contatto con il terreno, che è dotato di grande stabilità termica (se l'edificio si trova a 6 metri di profondità può arrivare ad avere una temperatura praticamente costante durante tutto l'arco dell'anno). Ma un edificio interrato ha anche una minore capacità di captare la radiazione solare e un minor grado di ventilazione (che determina un aumento dell'umidità).

L'addossamento è il grado di contatto dell'edificio con altre costruzioni. Un edificio addossato ad altri gode di una certa protezione termica rispetto all'esterno (soprattutto in inverno); ma presenta un numero ridotto di superfici captanti e ridotte possibilità di ventilazione (con un conseguente aumento dell'umidità). Gli orientamenti nord, nord-est e nord-ovest sono i più indicati per proteggere termicamente l'edificio senza diminuirne la capacità di captazione.

comfort climatico

Il comfort climatico è determinato da un lato dal comfort termico e dall'altro dalla qualità dell'aria interna.

I parametri termici che influiscono sulla percezione del comfort termico sono:
- la temperatura dell'aria
- la temperatura media radiante, ossia la media ponderata della temperatura delle superfici che racchiudono l'ambiente
- la temperatura operante
- l'umidità relativa dell'aria
- la velocità dell'aria.

La qualità dell'aria interna si ottiene evitando l'utilizzo di materiali con emissioni nocive e garantendo un adeguato ricambio dell'aria interna. I ricambi d'aria possono essere calcolati come quantità assoluta (m^3/h) o come quantità relativa al volume del locale ($r = m^3/m^3/h$).

La pesantezza è legata al tipo di materiali ed elementi costruttivi scelti per l'involucro. La pesantezza è associata al concetto di massa termica: la massa termica determina l'inerzia termica, ossia uno smorzamento delle variazioni climatiche esterne all'interno dell'edificio (ideale sia d'inverno che d'estate nei climi temperati). In realtà, perché si possa usufruire dell'inerzia termica occorre la presenza di materiali isolanti e un buon grado di isolamento termico dall'esterno. Le superfici pesanti dovrebbero essere orientate a sud, est e ovest e in copertura.
La scelta di risposta inerziale dell'edificio deve essere effettuata in relazione alla funzione ospitata dall'edificio e alle modalità d'uso e quindi al tipo di regime di accensione e spegnimento dell'impianto di riscaldamento o alla necessità di raffrescamento estivo (*cooling demand*).

La permeabilità si riferisce alla presenza di aperture nell'involucro che permettono il passaggio dell'aria. La permeabilità dipende dalle dimensioni e dalla posizione delle aperture. È vantaggioso avere poca permeabilità d'inverno (per non dissipare calore) e una elevata permeabilità d'estate (per migliorare la ventilazione) e dunque progettare soluzioni ad assetto variabile. Le aperture verso sud, sud-est e sud-ovest consentono l'ingresso dell'aria più calda, mentre quelle a nord dell'aria più fredda: se le aperture sono collocate su facciate opposte favoriscono la ventilazione incrociata.

La trasparenza è legata al passaggio della luce. Un edificio trasparente permette il passaggio della luce e della radiazione termica, mentre un edificio opaco impedisce il passaggio della luce, ma può permettere il passaggio della radiazione termica. Se l'edificio è trasparente e permette il passaggio della radiazione termica, all'interno si viene a creare l'effetto serra: la radiazione termica che attraversa il vetro viene assorbita dai materiali collocati nell'ambiente interno e viene riemessa con lunghezze d'onda maggiori, non più in grado di attraversare il vetro. Il progetto della dimensione e posizione delle finestre è influenzato da quattro aspetti: l'orientamento, il soleggiamento estivo e il conseguente surriscaldamento, l'illuminazione naturale e i possibili fenomeni di abbagliamento, il guadagno solare invernale. Il surriscaldamento e l'abbagliamento possono essere governati tramite aggetti e schermature in grado di ombreggiare quando occorre le superfici vetrate. Un edificio trasparente può captare grandi quantità di energia radiante; ma è anche un edificio poco isolato per cui la perdita di calore per trasmissione (di notte e d'inverno) è anch'essa molto grande (a meno che non si prevedano sistemi mobili di isolamento). Di conseguenza le variazioni di temperature tra notte e giorno sono molto elevate. Le superfici trasparenti dell'edificio dovrebbero essere orienta-

te a sud, sud-est e sud-ovest per favorire i guadagni termici d'inverno (provvedendo ad adeguate schermature in estate). Gli orientamenti est e soprattutto ovest sono da evitare in estate, poiché il sole è basso e colpisce in maniera diretta le superfici trasparenti. Anche le coperture trasparenti sono da evitare per il surriscaldamento estivo e uno scarso apporto termico invernale.

L'isolamento si riferisce alla resistenza dell'involucro al passaggio di calore e si calcola come coefficiente di trasmissione termica (W/m^2K). Valori inferiori a 0,5 W/m^2K corrispondono a involucri ben isolati mentre valori superiori a 2 W/m^2K corrispondono a involucri poco isolati. In un edificio molto isolato lo scambio energetico interno-esterno è ridotto e quindi si hanno poche dispersioni di calore durante l'inverno. È raccomandabile l'uso di elevato isolamento nei climi più estremi (molto freddi o molto caldi). L'isolamento dell'edificio deve essere differente in relazione agli orientamenti: occorre un maggiore isolamento delle facciate esposte a nord e della copertura.

La rugosità si riferisce all'esistenza di volumi che sporgono o rientrano dalla facciata (con una distanza dal filo parete non superiore a 1 metro, altrimenti rientrano nel calcolo della compattezza). Un edificio molto rugoso presenta un aumento della superficie a contatto con l'esterno e un aumento delle zone d'ombra, vantaggiose in estate; possono inoltre aumentare le possibilità di orientamento alla radiazione solare (facciate a dente di sega). L'incremento della rugosità è favorevole per gli orientamenti a sud, est e ovest (soprattutto per il comportamento termico estivo), mentre è da evitare a nord poiché determina solamente un aumento degli scambi energetici.

La texture si riferisce al tipo di finitura superficiale dell'involucro. Un edificio dotato di texture presenta un minore surriscaldamento della superficie d'involucro grazie alla formazione di piccoli moti d'aria sulla superficie.

Il colore (riferito a involucri opachi) è legato all'assorbimento superficiale e quindi al trasferimento di energia ricevuta per irraggiamento: i colori scuri hanno un elevato coefficiente di assorbimento, mentre i colori chiari hanno un basso valore di assorbimento. Dunque i colori scuri assorbono la radiazione solare (da evitare nei climi caldi), mentre i colori chiari la riflettono riducendo la captazione di energia termica.

L'assetto variabile dipende dall'utilizzo di sistemi mobili che permettano di modifi-

care il rapporto pieni-vuoti, di trasparenza e opacità, di isolamento dell'involucro nell'arco della giornata o nell'arco delle stagioni. Nei nostri climi la variabilità di assetto dell'involucro è fondamentale per garantire una risposta adeguata alle differenti condizioni esterne che si hanno durante l'anno. Pensiamo al caso estremo di Bolzano che ha temperatura invernale molto fredda (temperatura media di gennaio di 0,8°C) e temperatura estiva molto calda (temperatura media di luglio di 22,5°C pari a Rimini).

sistemi di climatizzazione naturale (passivi)

I sistemi captanti, o sistemi solari passivi, sono l'insieme dei componenti dell'edificio che hanno la funzione di captare l'energia solare e di trasferirla all'interno sotto forma di calore. Si possono classificare in:

- sistemi a guadagno diretto, in cui l'energia radiante entra direttamente negli ambienti da climatizzare attraverso superfici trasparenti (la radiazione solare attraversa le superfici trasparenti di chiusure verticali e coperture e viene assorbita dalle superfici interne che si riscaldano)
- sistemi di captazione semidiretti, in cui tra ambiente interno ed esterno si interpone uno spazio che capta l'energia solare (serra)
- sistemi di captazione indiretta, in cui la captazione avviene utilizzando un elemento di accumulo (opaco e dotato di elevata capacità termica) che immagazzina energia per cedere successivamente calore (il muro di Trombe è un caso particolare di muro ad accumulo, in cui aperture inferiori e superiori innescano anche movimenti dell'aria)
- sistemi di captazione indipendenti, in cui il trasferimento di calore si effettua con flusso naturale di aria o acqua che circola nei condotti che collegano i diversi elementi.

A integrazione dei sistemi di captazione possono essere utilizzati:

- i sistemi ad accumulo
- i sistemi di ventilazione e trattamento dell'aria
- i sistemi di protezione solare.

I sistemi ad accumulo sono componenti dell'edificio che incrementano la massa e agiscono come stabilizzatori della temperatura interna. Possono essere classificati in:

- sistemi ad accumulo sotterranei, che si ottengono interrando parzialmente l'edificio (al fine di smorzare le oscillazioni giornaliere di temperatura è sufficiente uno strato di terra di 20-30 cm; per ottenere un effetto durante una sequenza di gior-

ni lo spessore deve essere di 0,6-1,5 m; per ottenere un effetto durante l'anno lo spessore è di 6-12 m).
- sistemi ad accumulo interni, che sono collocati all'interno dell'edificio e agiscono smorzando le oscillazioni di temperatura interna; la quantità di calore ceduta da questi elementi all'interno deve essere molto più grande di quella ceduta all'esterno, per cui occorre collocare lo strato di isolamento termico esternamente rispetto agli elementi a elevata inerzia.
- sistemi ad accumulo in copertura (occorrono spessori di 30 cm per materiali solidi e di 20 cm di acqua per ottenere una massa adeguata).
Un versante molto interessante oggi è quello dei materiali a cambiamento di fase, che permettono il controllo dell'inerzia termica anche in pacchetti di chiusura di tipo stratificato e leggero.

I sistemi di ventilazione e trattamento dell'aria hanno lo scopo di favorire la circolazione dell'aria all'interno degli ambienti, per migliorarne la qualità (aria pura), ma anche per migliorare le condizioni di temperatura (aria fresca) e umidità. Il trattamento dell'aria consiste nella possibilità di preriscaldare l'aria in ingresso in inverno, raffrescarla e deumificarla o umidificarla in estate. Si possono classificare in:
- sistemi di movimentazione dell'aria, che utilizzano le differenze di pressione all'interno dell'edificio (ventilazione incrociata, effetto camino, camera solare, aspirazione statica, torre del vento)
- sistemi di trattamento dell'aria, che favoriscono l'evaporazione per effetto di una corrente d'aria che scorre su una superficie d'acqua (raffreddamento evaporativo, torri evaporative, patii, condotti sotterranei)

I sistemi di protezione dalla radiazione solare (vegetazione, aggetti, brise-soleil, tende) impediscono d'estate il surriscaldamento interno e sono da collocarsi rigorosamente all'esterno dell'edificio (prima che la radiazione colpisca l'involucro).

sistemi di climatizzazione attivi

I sistemi di climatizzazione attivi si rendono necessari quando le misure di controllo passivo della climatizzazione non sono sufficienti a garantire il comfort degli ambienti interni. Per cercare di contenere i consumi e gli impatti prodotti dai sistemi attivi è opportuno ricorrere a fonti energetiche rinnovabili e utilizzare la risorsa 'sole' tramite il solare termico e il fotovoltaico.
Sono almeno dieci anni che in Italia vengono costruiti edifici passivi, come documenta anche una ricerca dell'ENEA del 1992 dal titolo *Edifici bioclimatici in Italia*, dove vengono presentati 151 edifici solari passivi, che sfruttano l'energia solare in

passivhaus: Passivhaus Institut di Darmstad

Il Passivhausinstitut di Darmstatd ha definito i parametri che deve possedere un edificio per essere considerato una *passivhaus*:

- fabbisogno termico per riscaldamento inferiore a 15 kwh/m^{2}anno;
- energia totale utilizzata comprensiva dell'energia del fabbisogno termico invernale pari a 42 kwh/m^{2}a;
- trasmittanza termica globale dell'involucro (U) inferiore a 0,15 W/m^{2}K;
- trasmittanza termica globale dei serramenti interni/esterni (U) inferiore o uguale a 0,8 W/m^{2}K;
- assenza di ponti termici
- ventilazione controllata con almeno il 75% di recupero di calore
- impermeabilità all'aria (n50<0,6 h-1)

L'involucro termico è un contenitore praticamente adiabatico mentre l'inerzia termica nelle passivhaus non è significativa.

maniera passiva per il riscaldamento. Oggi però il concetto di edificio passivo (***passivhaus***) è diventato un preciso standard energetico che indica un edificio caratterizzato da un fabbisogno termico per il riscaldamento invernale inferiore a 15 kWh/m^{2}a. Infatti dal 1991 nell'Europa centrale sono iniziate alcune ricerche e sperimentazioni volte a verificare le possibilità tecnico-economiche per la realizzazione di edifici con ridotte esigenze di energia. Queste ricerche hanno prodotto edifici a basso consumo energetico (***low energy building***). Un edificio a basso consumo energetico ha un fabbisogno termico compreso tra 25 e 60 kWh/m^{2}a. A questa tipologia appartengono, per esempio, gli edifici che soddisfano il Minergie-Standard svizzero, che prevede per gli edifici residenziali di nuova costruzione un fabbisogno termico inferiore a 45 kWh/m^{2}a. Tanto per fare un confronto, si ricorda che nelle abitazioni italiane si consumano mediamente 160 kWh/m^{2}a, di cui circa 110 per il riscaldamento e 20 per la produzione di acqua calda (Wienke, 2002).
Ma l'obiettivo è quello di arrivare a realizzare edifici a 'consumo zero' e in questa direzione si stanno spingendo le sperimentazioni sulle *passivhaus*. Una *passivhaus*, per essere certificata come tale, deve avere un fabbisogno termico non superiore ai 15 kWh/m^{2}a e un fabbisogno energetico totale inferiore a 42 kWh/m^{2}a. Una passivhaus dunque rientra nell'obiettivo del "fattore 10", ossia utilizza solo il 10% dell'energia rispetto a un edificio tradizionale. In una *passivhaus* l'energia necessaria per riscaldare un appartamento di 100 m^2 in un anno è equivalente a 150 litri di gasolio, ossia a due pieni di benzina di un'automobile.

Edifici a consumo energetico zero sono stati finora costruiti quasi solo a scopi sperimentali e dimostrativi.

Il trasferimento dall'Europa Centrale alle aree del mediterraneo dei medesimi standard di consumo è più che auspicabile, ma va invece posta sotto osservazione e verificata la trasferibilità delle soluzioni tecniche che permettono di rientrare negli standard.
Per esempio gli spessori degli isolanti consigliati dal Passivhaus Institut nel nord Europa indicativamente sono 30-35 cm nelle chiusure verticali, 40-45 cm in copertura, 15-20 cm nel solaio contro terra.
Ma i modelli ideati e sperimentati nell'Europa centrale non sono trasferibili tali e quali, perché in quella regione il problema principale è quello di limitare il fabbisogno termico del riscaldamento invernale, mentre nel Mediterraneo si deve contemplare anche quello del raffrescamento estivo, che da qualche anno è un fattore che comporta un consumo sempre maggiore di energia. Inoltre il fabbisogno termico è calcolato in base alla potenza termica dispersa per trasmissione che è in funzione della temperatura media esterna (quindi della regione climatica). La trasmittanza termica deve dunque basarsi sul diverso clima (cfr. § 3.2).

Le ***passivhaus*** sono caratterizzate da perdite di calore così minime che il calore fornito dagli apporti solari (attraverso finestre e vetrate esposte a sud) e quello prodotto e recuperato da sorgenti interne (persone, apparecchiature, macchinari, illuminazione artificiale), può coprire quasi tutta l'energia necessaria per il riscaldamento invernale, permettendo di rinunciare ad un impianto di riscaldamento convenzionale.

Dal punto di vista delle soluzioni tecniche, le *passivhaus* si caratterizzano per :
- rapporto superficie/volume ottimizzato
- elevata coibentazione
- assenza di ponti termici
- impermeabilità al vento dell'involucro
- accurato studio del comportamento dei flussi di vapore con verifica di Glaser (per il posizionamento delle barriere al vapore)
- accurato studio della stratificazione dei materiali in funzione della permeabilità
- posizionamento di balconi, terrazze, scale all'esterno rispetto all'involucro termico.

Il comportamento igrotermico può essere controllato attraverso i materiali utilizzati per gli interni, che possono avere la capacità di assorbire dall'ambiente l'ecces-

so di umidità per restituirla quando le condizioni fisiche dell'ambiente diventano troppo secche.

Chiaramente la progettazione deve essere supportata da strumenti e metodi di calcolo che permettano di verificare il rispetto delle prescrizioni. Per esempio il calcolo dell'isolamento termico delle chiusure opache trova riferimento applicativo nella norma UNI EN ISO 6946.

Coibentazione

La trasmittanza termica globale dell'involucro di una *passivhaus* deve essere inferiore a 0,15 W/m^2K. Le finestre devono garantire apporti solari che controbilancino le perdite giornaliere di calore per trasmissione. Sono necessarie finestre con elevate proprietà termoisolanti (valore $U < 0,8\ W/m^2K$) e una trasparenza che fa attraversare almeno lo 0,55% della luce incidente. Per evitare eventuali surriscaldamenti degli ambienti e anche in riguardo al costo elevato, la superficie delle finestre (esposte preferibilmente a sud) è da limitare a quella indispensabile per soddisfare il rapporto di aeroilluminazione e procurare gli apporti solari necessari. Generalmente vengono utilizzate finestre con tripli vetri e intercapedini con gas argon. In Italia è però stato stimato che sono sufficienti finestre con doppi vetri.

Assenza di ponti termici

Una *passivhaus* non deve avere ponti termici. Per questo motivo si rinuncia a balconi e ad altri elementi sporgenti. Questi elementi devono essere costruiti senza diretto contatto con l'edificio, cioè costituire una struttura a se stante.

Impermeabilità

In una *passivhaus* non sono permesse perdite di calore per infiltrazioni incontrollate d'aria fredda. L'involucro deve essere impermeabile al vento. L'impermeabilità è da accertare tramite un Blower-Door-Test. In condizioni di una differenza di pressione di 50 Pa (Pascal) il tasso di ricambio d'aria per infiltrazione (n50) deve essere compreso tra lo 0,2 e lo 0,6/h.

Ventilazione controllata

Nelle *passivhaus* la ventilazione avviene tramite un impianto di ventilazione controllata con recupero di calore in modo da garantire la qualità dell'aria interna e un basso consumo energetico. L'impianto deve fornire un ricambio di almeno 30 m^3/h a persona, ossia un tasso di ricambio di 0,4/h. Il ricambio d'aria deve essere

regolabile individualmente: per esempio, in presenza di fumatori deve essere possibile aumentare la ventilazione.

Riscaldamento

Nelle *passivhaus* il riscaldamento avviene tramite l'impianto di ventilazione. Ciò è possibile quando la potenza termica necessaria non supera i 10 W/m^2. I sistemi di ventilazione delle *passivhaus* recuperano calore dall'aria in uscita. Gli scambiatori devono avere un rendimento almeno dell'80%. Altra energia termica si produce spesso con l'ausilio di una pompa di calore o di collettori solari. L'industria tedesca produce oggi aggregati monoblocco che azionano e regolano la ventilazione, recuperano il calore dall'aria in uscita e producono acqua calda tramite una minipompa di calore (e/o collettori solari). Molti impianti sono inoltre collegati a scambiatori interrati. Gli aggregati funzionano a corrente continua (24 V), hanno una potenza < 40 Watt e possono essere alimentati da un piccolo pannello fotovoltaico.

TECNICHE TRADIZIONALI, EVOLUTE E INNOVATIVE PER L'ISOLAMENTO

2.2

L'obiettivo del risparmio energetico ha come prima risposta progettuale l'ottimizzazione degli elementi che compongono la costruzione. Dal momento che la funzione del chiudere, e quindi del proteggere l'interno dall'esterno, è svolta dalle chiusure, a queste è demandato il ruolo di implementare la prestazione dell'edificio.
La ricerca è volta dunque all'individuazione di modelli funzionali, materiali e componenti capaci di fornire prestazioni elevate dal punto di vista dell'isolamento termico, allo scopo di evitare dispersioni e dunque consumi.
Ma il risparmio energetico, che è volto alla salvaguardia dell'ambiente, è un obiettivo che va calibrato con l'esigenza di realizzare un ambiente interno agli edifici che garantisca il benessere termoigrometrico. Ne deriva che non è sufficiente porsi l'obiettivo di isolare o iperisolare, allo scopo di ridurre i consumi e l'inquinamento dell'ambiente, ma occorre anche trovare soluzioni progettuali, modelli funzionali e tipologie di involucro edilizio che creino spazi abitabili e confortevoli. Spesso sperimentazioni troppo tese a soddisfare il primo obiettivo, quello del risparmio energetico, hanno trascurato o addirittura dimenticato di verificare il secondo, ossia quello del benessere.
Le tradizioni costruttive delle diverse regioni climatiche vanno salvaguardate per gli aspetti di comfort e benessere che hanno connaturati, frutto di esperienza di secoli. Per esempio, la costruzione a massa che caratterizza le aree del Mediterraneo deriva dalla necessità di controllare, tramite l'inerzia termica, le escursioni termiche giornaliere e soprattutto di sfruttare d'estate il raffrescamento notturno in modo da godere di superfici fredde (temperatura media radiante) nei momenti della giornata in cui la temperatura dell'aria è più elevata. Contemporaneamente non è possibile rimanere ancorati alla staticità di soluzioni tradizionali ormai inadeguate.

trasmittanza termica di un involucro opaco

La **trasmittanza termica** (U) indica la quantità di calore che viene dispersa da un metro quadrato di involucro dell'edificio ed è definita dall'inverso della somma delle resistenze termiche (R) degli strati che costituiscono la chiusura. A bassi valori di trasmittanza termica corrisponde una minore dispersione del calore e una migliore coibentazione.
unità di misura: W/m^2K
U = 1/R
R è la resistenza termica

La **resistenza termica** è determinata dal rapporto tra spessore dello strato e conduttività termica del materiale da cui è composto lo strato.
unità di misura: m^2/KW
R = s/λ
s è lo spessore dello strato
λ è conduttività termica del materiale con cui è composto lo strato.

Il trasporto di energia all'interno dei componenti è definito **conduzione termica** e viene calcolato in base alla conduttività termica (λ) dei materiali.

Va fatta fin da subito una precisazione. Il valore della conduttività termica che compare sulle schede tecniche dei produttori è un valore che viene rilevato in laboratorio e viene definito **conduttività di riferimento** (λ_D). Il valore di conduttività che viene utilizzato per il calcolo della resistenza termica deve però tenere conto delle condizioni di esercizio, ossia della prestazione peggiorata del componente rispetto alle condizioni ottimali di laboratorio. Infatti i valori rilevati in laboratorio, in ambiente protetto, su campioni nuovi e manipolati con cura, sono ben differenti dai valori effettivi di esercizio, dove possono influire la poca cura nel trasporto e movimentazione, errori di messa in opera, il decadimento prestazionale nel tempo, condizioni di degrado e sollecitazioni esterne. Per questo la norma UNI 10351 fornisce i valori dei principali materiali edilizi utilizzati indicando una percentuale di maggiorazione tra conduttività termica di riferimento (λm) e **conduttività termica di calcolo** (λ).

Inoltre va sottolineato che nella norma UNI 10351 viene fatta una ulteriore distinzione. Infatti non tutti gli strati di una costruzione sono omogenei: i laterizi conformano sia nelle partizioni verticali che nelle partizioni orizzontali elementi costituiti da due materiali, laterizio e cemento o malta. Per questo gli elementi disomogenei hanno valori di calcolo differenti. Per determinare la resistenza termica di questi strati non omogenei si fa riferimento non alla conduttività termica, ma alla **conduttanza termica unitaria** C (W/m^2K). I valori di condut-

tanza termica delle principali tipologie di chiusura verticale e di solaio sono forniti dalla norma UNI 10355.

Oltre al passaggio di calore attraverso gli strati in funzione della loro resistenza termica, per determinare la trasmittanza termica di un involucro opaco occorre considerare anche il passaggio di calore dall'aria ai componenti edilizi di chiusura. L'adduttanza o conduttanza unitaria superficiale indica il coefficiente liminare di passaggio termico tra l'aria e il componente edilizio. La resistenza termica di ammissione (e di emissione) è definita dal reciproco $1/h_i$ e $1/h_e$.

La resistenza termica di una parete viene calcolata come somma dell'inverso delle conduttività termiche dei vari strati moltiplicate per lo spessore dei diversi strati, a cui aggiungere l'inverso della conduttanza termica in caso di strati non omogenei e a cui aggiungere la **resistenza termica di ammissione** (inverso dell'adduttanza interna h_i) e la **resistenza termica di emissione** (inverso dell'adduttanza esterna h_e) dell'intero pacchetto di involucro, che sono valori prefissati in relazione al clima e alle condizioni di vento.

Dunque la resistenza termica è data da

$R_{tot} = 1/h_i + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + 1/C + 1/h_e$

La coibentazione dell'edificio consente di mantenere all'interno degli ambienti determinate condizioni di benessere termico.
L'isolamento termico si basa sulla presenza di una barriera (costituita da un componente edilizio) che impedisce al calore (energia termica) di disperdersi verso l'esterno durante l'inverno o di entrare durante l'estate. L'elemento tecnico che maggiormente contribuisce alla riduzione della trasmissione termica è l'isolante.
Lo strato isolante è presente in tutte le soluzioni tecniche di chiusura di tipo stratificato, dove viene in genere collocato in una intercapedine interna. Nei casi di retrofit energetico può essere applicato all'esterno (soluzioni a cappotto o a facciata ventilata) oppure all'interno (controparete), sempre abbinato a uno strato di rivestimento.
Nei casi di retrofit la collocazione dello strato isolante all'esterno o all'interno può essere determinata da vincoli progettuali o necessità estetiche: si preferisce in genere intervenire con soluzioni esterne a cappotto o a parete ventilata quando si rende necessario il rifacimento di una facciata ammalorata; si preferisce intervenire con contropareti interne quando vincoli storici o architettonici impediscono interventi esterni. Occorre sottolineare che tale scelta influisce anche

esempio di calcolo

Calcolo della trasmittanza unitaria di una chiusura verticale

composizione della parete verticale dall'interno verso l'esterno:

1. intonaco di calce e gesso	spessore 1,5 cm
2. tavolato in mattoni forati di laterizio (a sei fori)	spessore 10 cm
3. intercapedine d'aria	spessore 4 cm
4. isolante in lana di roccia	spessore 5 cm
5. muratura di mattoni semipieni UNI (12x12x25)	spessore 12 cm
6. intonaco di calce e cemento	spessore 1,5 cm

attribuzione dei valori di conduttività termica in base alle norme UNI 10351:

1. intonaco di calce e gesso	λ = 0,70 W/mK
2. tavolato in mattoni forati (ρ = 800 kg/m^3)	λ = 0,30 W/mK
3. intercapedine d'aria	C = 6,40 W/m2K
4. isolante in lana di roccia (ρ = 80 kg/m^3)	λ = 0,039 W/mK
5. muratura di mattoni semipieni (ρ = 1400 kg/m^3)	λ = 0,50 W/mK
6. intonaco di calce e cemento	λ = 0,90 W/mK

calcolo della resistenza termica dell'intera parete:

resistenza termica di ammissione ($1/h_i$)	0,123 m^2/KW
1. intonaco di calce e gesso R = s/λ = 0,015/0,70 =	0,021 m^2/KW
2. tavolato in mattoni forati R = s/λ = 0,10/0,30 =	0,333 m^2/KW
3. intercapedine d'aria R = 1/C = 1/6,40 =	0,156 m^2/KW
4. isolante in lana di roccia R = s/λ = 0,05/0,039 =	1,282 m^2/KW
5. muratura di mattoni semipieni R = 0,12/0,50 =	0,240 m^2/KW
6. intonaco di calce e cemento R = 0,015/0,90 =	0,016 m^2/KW
resistenza termica di emissione ($1/h_e$)	0,043 m^2/KW

resistenza termica totale (sommatoria delle resistenze degli strati)

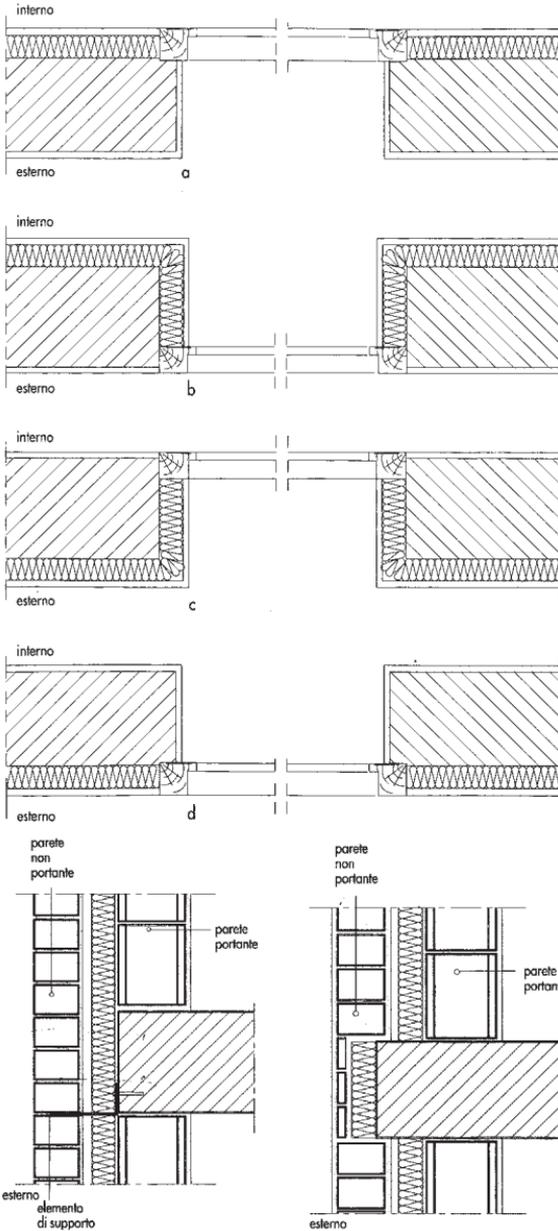
Rtot = 2,214 m^2/KW

trasmittanza termica (inverso della resistenza termica)

Utot = 1/R = 1/2,214 = 0,451 W/m^2

sulla risposta inerziale dell'edificio: se l'isolamento termico viene collocato all'interno la massa della chiusura viene estromessa come massa d'accumulo e dunque la risposta alle variazioni di temperatura interna è più rapida (adatta a locali utilizzati parzialmente nell'arco delle 24 ore, come gli uffici); se l'isolamento termico viene collocato all'esterno la massa della chiusura costituisce massa di accumulo e dunque la risposta alle variazioni di temperatura interna è più lenta (adatta agli edifici residenziali).

collocazione dello strato isolante

Le soluzioni tecnico-costruttive per l'eliminazione dei ponti termici in corrispondenza dell'apertura dei vani finestra e dell'incontro tra involucro e struttura portante (testa dei solai) dimostrano la fondamentale importanza di garantire la continuità dell'isolante.

conducibilità termica

(fonte: UNI 10351)

massa volumica: ρ (kg/m^3)
conduttività termica: λ (W/mK) valore che comprende già la percentuale m (%)
maggiorazione: m (%) da utilizzare per adeguare valori λ_D rilevati in laboratorio

	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	m (%)
aria (in quiete)	1,3	0,026	-
calcestruzzo			
con aggregati	2000	1,16	15
	2200	1,48	15
	2400	1,91	15
di argille espanse	500	0,16	20
	600	0,18	20
	700	0,21	20
	800	0,24	20
	900	0,27	20
	1000	0,31	20
	1100	0,35	20
	1200	0,39	20
	1300	0,44	20
	1400	0,50	20
	1500	0,57	20
	1600	0,65	20
	1700	0,75	20
cellulare	400	0,15	25
	500	0,17	25
	600	0,19	25
	700	0,22	25
	800	0,25	25
di inerti espansi	1000	0,38	40
	1200	0,47	40
	1400	0,58	40
cls generico	400	0,19	
	500	0,22	
	600	0,24	
	700	0,27	
	800	0,30	
	900	0,34	
	1000	0,38	
	1100	0,42	
	1200	0,47	
	1300	0,52	
	1400	0,58	
	1500	0,65	
	1600	0,73	
	1700	0,83	
	1800	0,93	
	1900	1,06	

massa volumica: ρ (kg/m^3)
conduttività termica: λ (W/mK) valore che comprende già la percentuale m (%)
maggiorazione: m (%) da utilizzare per adeguare valori λ_D rilevati in laboratorio

	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	m (%)
laterizi			
mattoni pieni, forati	600	0,25	90
	800	0,30	65
	1000	0,36	48
	1200	0,43	35
	1400	0,50	25
	1600	0,59	18
	1800	0,72	14
	2000	0,90	12
legno			
abete	450	0,12	20
pino	550	0,15	20
acero	710	0,18	20
quercia	850	0,22	20
pannelli e lastre			
fibre di legno duri	800	0,140	20
	900	0,160	20
	1000	0,180	20
lana di legno e leganti	300	0,085	20
	350	0,091	20
	400	0,097	20
	500	0,011	20
spaccato di legno	400	0,120	30
	500	0,140	30
	600	0,160	30
metalli			
acciaio	7800	52	
acciaio inossidabile	8000	17	
alluminio	2700	220	
leghe di alluminio	2800	160	
ferro	7870	80	
ghisa	7200	50	
rame	8900	380	
piombo	11300	35	
rocce naturali			
ardesia	2700	2,0	
calcare	2100	1,6	
	2700	2,9	
	2800	3,5	
granito	2500	3,2	
	3000	4,1	
marmo	2700	3,0	

(fonte: UNI 10351)

conducibilità termica

(fonte: UNI 10351)

massa volumica: ρ (kg/m^3)
conduttività termica: λ (W/mK) valore che comprende già la percentuale m (%)
maggiorazione: m (%) da utilizzare per adeguare valori λ_D rilevati in laboratorio

	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	m (%)
carta e cartone			
carta e cartone	1000	0,18	
cartone bitumato	1100	0,23	
cartongesso	900	0,21	
cartone ondulato	100	0,065	
lana di vetro			
feltri	11	0,053	10
	14	0,048	10
	16	0,046	10
pannelli semirigidi	16	0,046	10
	20	0,043	10
	30	0,040	10
pannelli rigidi	100	0,038	10
lana di roccia			
feltri	30	0,045	10
pannelli semirigidi	35	0,044	10
	40	0,042	10
	55	0,040	10
pannelli rigidi	80	0,039	10
	100	0,038	10
	125	0,038	10
materie plastiche			
polietilene espanso	30	0,050	20
non reticolato	50	0,060	20
polietilene espanso	33	0,048	20
reticolato	50	0,058	20
polistirene sintetizz	15	0,045	10
polistirene espanso	20	0,041	10
in lastre	25	0,040	10
	30	0,040	10
polistirene espanso	20	0,040	10
in lastre stampate	25	0,039	10
	30	0,039	10
polistirene espanso	30	0,036	10
estruso con pelle	35	0,035	10
polistirene espanso	30	0,041	10
estruso senza pelle	50	0,034	20
poliuretano in lastre	25	0,034	10
	32	0,032	40
	40	0,032	45
	50	0,032	45
poliuretano espanso	37	0,035	50

conducibilità termica

(fonte: UNI 10351)

massa volumica: ρ (kg/m³)
conduttività termica: λ (W/mK) valore che comprende già la percentuale m (%)
maggiorazione: m (%) da utilizzare per adeguare valori λ_D rilevati in laboratorio

	ρ (kg/m³)	λ (W/mK)	m (%)
intonaci/malte			
malte di gesso	600	0,29	
	750	0,35	
	900	0,41	
	1000	0,47	
	1200	0,58	
intonaco gesso	1200	0,35	
int. calce e gesso	1400	0,70	
int. calce e cemento	1800	0,90	
malta di cemento	2000	1,40	
impermeabilizzazione			
asfalto	2100	0,70	
asfalto con sabbia	2300	1,15	
bitume	1200	0,17	
bitume con sabbia	1300	0,26	
cartone catramato	1600	0,50	
materiale sintetico	1100	0,23	
riempimenti			
argilla espansa	280	0,090	
	330	0,100	
	450	0,120	
fibre di cellulosa	32	0,058	
perlite espansa	100	0,066	
polistirolo espanso	15	0,054	
vermiculite espansa	80	0,077	
	120	0,082	
ciotoli e pietre	1500	0,70	
ghiaia grossa	1700	1,20	
sabbia secca	1700	0,60	
porcellana			
piastrelle	2300	1,0	
vetro			
cellulare espanso	130	0,055	
	150	0,060	
	180	0,066	
per finestre	2500	1,0	

L'obiettivo delle schede di analisi che verranno presentate nelle prossime pagine è quello di fornire al progettista alcune indicazioni circa il grado di trasmittanza termica (e dunque di efficienza in termini di isolamento termico) di alcune soluzioni tecniche di involucro (chiusure verticali e chiusure orizzontali).
Le soluzioni analizzate sono state tratte principalmente dalla manualistica e selezionate in base alla loro ricorrenza nella prassi costruttiva.
Le soluzioni tecniche sono state tratte da:
- Arie Gottfried, a cura di, *Manuale di progettazione edilizia. Le chiusure verticali*, Hoepli, Milano, 2002.
- Cristina Benedetti, Vincenzo Bacigalupi, *Materiali e progetto*, Edizioni Kappa, Roma, 1996.
La catalogazione delle soluzioni tecniche presentate è stata divisa in:
- soluzioni 'tradizionali', ritenute le più diffuse nel costruire convenzionale e di tipo monostrato,
- soluzioni 'evolute', caratterizzate sempre da una discreta diffusione e di tipo stratificato (e dunque prestazionalmente più qualificate),
- soluzioni 'innovative', caratterizzate da una scarsa diffusione (almeno sul nostro territorio) e da un carattere ancora sperimentale, ma prestazionalmente efficienti e dunque da tenere in considerazione.

LEGENDA
dati caratterizzanti:

spessore	s	m
conduttività o conducibilità termica	λ	W/mK
massa volumica o densità	ρ	Kg/m^3
conduttanza unitaria	C	W/m^2K
resistenza termica	R	m^2K/W
trasmittanza termica	U	W/m^2K

fonte dei dati: norma UNI 10351 e norma UNI 10355.

Per calcolare la resistenza termica totale sono state calcolate le resistenze termiche dei singoli strati ($R = s/\lambda$) e sono quindi state sommate le resistenze a ottenere il valore complessivo del pacchetto di chiusura, a cui vanno aggiunte le resistenze termiche di ammissione (1/hi) ed emissione (1/he):

chiusura verticale:	1/hi = 0,123	1/he = 0,043 m^2K/W
chiusura orizzontale:	1/hi = 0,107	1/he = 0,043 m^2K/W

Viene quindi data una indicazione di integrazione tecnica in caso di **retrofit energetico**, ossia di intervento sul costruito, o di **incremento prestazionale**. È stato calcolato lo spessore di strato isolante che sarebbe necessario aggiungere, per raggiungere la prestazione di isolamento termico che consente di ottenere un edificio energeticamente efficiente (cfr. § 3.2). Lo strato isolante ipotizzato è in lana di roccia in pannelli rigidi, con un valore di conduttività termica di 0,039 W/mK e una densità di 80 kg/m^3 per le chiusure verticali e di 0,038 W/mK e una densità di 100 kg/m^3 per le chiusure orizzontali (tetto inclinato).

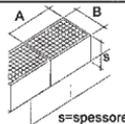
Date le trasmittanze iniziale e finale, vengono calcolate le resistenze

$R_{ini} = 1/U_{ini}$ $R_{fin} = 1/U_{fin}$

La resistenza termica dello strato di materiale aggiunto ΔR è data dalla differenza tra R_{ini} e R_{fin}: $\Delta R = R_{ini} - R_{fin}$

ΔR è anche uguale al rapporto tra lo spessore s e la conduttività termica λ. Quindi è possibile ricavare lo spessore di isolante: $s = \Delta R \bullet \lambda$

La collocazione dello strato isolante è una scelta progettuale che va posta in relazione alla soluzione dei ponti termici e al regime di riscaldamento.

TIPO DI STRUTTURA	Dim. A (cm)	Dim. B (cm)	Conduttanza unitaria C (W/m² K)	Schema della struttura
TAVOLATO DI MATTONI FORATI DI LATERIZIO	4 6 8 10 12 15	25 25 25 25 25 25	9,09 7,69 5,00 3,70 3,22 2,22	A
MURO IN MATTONI SEMIPIENI spessore (cm) 5 6 12 12	25 28 25 25	12 14 12 24	5,26 4,16 4,16 2,70	A B s s=spessore
MURO IN BLOCCHI FORATI spessore (cm) 25 25 25	25 25 25	25 30 37	1,25 1,06 0,94	A B s s=spessore
SOLAIO IN BLOCCHI FORATI DI LATERIZIO	49,5 49,5 49,5	16 20 24	3,33 3,03 2,56	B A
SOLAIO TIPO PREDALLES	120 120 120	12 20 25	asc. 3,57, disc.3,33 asc. 2,77, disc. 2,63 asc. 2,38, disc. 2,22	B A

fonte: Chiesa, Dall'O', 1996, p. 117. Conduttanza termica di alcune strutture esclusi gli intonaci (W/m²K), tratti da norma UNI 10355.

Tipo di intercapedine	Spessore 1 cm	Spessore 2 - 10 cm
Strato d'aria orizzontale (flusso di calore ascendente)	7,56	6,98
Strato d'aria verticale	7,56	6,40
Strato d'aria orizzontale (flusso di calore discendente)	7,56	5,23

fonte: Chiesa, Dall'O', 1996, p. 118. Conduttanza unitaria per intercapedini d'aria (W/m²K).

1. intonaco plastico 2 cm
2. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
3. blocchi in laterizio 30 cm
4. intonaco di gesso 1,5 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,90	1000		0,022	45,45
2.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
3.	0,300		900	1,06	0,943	1,06
4.	0,015	0,35	1200		0,043	23,80
h_i					0,123	

resistenza termica	R **1,19 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U **0,84 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 0{,}84 - 1{,}19 = 1{,}31$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}31 \cdot 0{,}039 = 0{,}051$ m s = 51 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **5 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}19 - 3{,}33 = 2{,}14$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2{,}14 \cdot 0{,}039 = 0{,}084$ m s = 84 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **9 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}19 - 5{,}00 = 3{,}81$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 3{,}81 \cdot 0{,}039 = 0{,}149$ m s = 149 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **15 cm** di isolante in lana di roccia.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. mattoni semipieni in laterizio 12 cm
3. mattoni semipieni in laterizio 14 cm
4. intonaco di gesso 1,5 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,120		675	4,16	0,240	4,16
3.	0,140		675	4,16	0,240	4,16
4.	0,015	0,35	1200		0,043	23,80
h_i					0,123	

resistenza termica	R **0,71 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U **1,42 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 0{,}71 - 2{,}5 = 1{,}79$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 1{,}79 \,.\, 0{,}039 = 0{,}070$ m   s = 70 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **7 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 0{,}71 - 3{,}33 = 2{,}63$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 2{,}63 \,.\, 0{,}039 = 0{,}102$ m   s = 102 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **10 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 0{,}71 - 5{,}00 = 4{,}29$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 4{,}29 \,.\, 0{,}039 = 0{,}167$ m   s = 167 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **17 cm** di isolante in lana di roccia.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. blocchi in laterizio 37 cm
3. intonaco di gesso 1,5 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
he					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,370			0,94	1,063	0,94
3.	0,015	0,35	1200		0,043	23,80
hi					0,123	

resistenza termica	R	**1,29 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,78 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

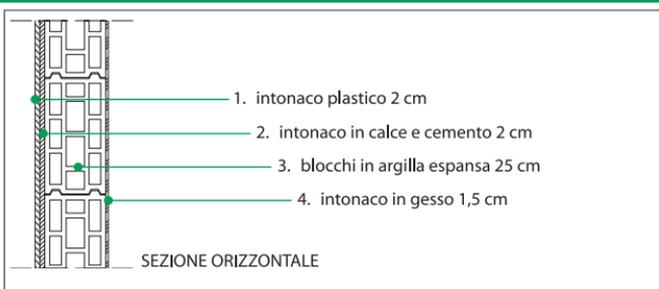
calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}29 - 2{,}5 = 1{,}21$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}21 \cdot 0{,}039 = 0{,}047$ m s = 47 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **5 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}29 - 3{,}33 = 2{,}04$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2{,}04 \cdot 0{,}039 = 0{,}080$ m s = 80 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **8 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}29 - 5{,}00 = 3{,}71$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 3{,}71 \cdot 0{,}039 = 0{,}145$ m s = 145 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **15 cm** di isolante in lana di roccia.

1. intonaco plastico 2 cm
2. intonaco in calce e cemento 2 cm
3. blocchi in argilla espansa 25 cm
4. intonaco in gesso 1,5 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
he					0,043	
1.	0,020	0,90	1000		0,022	45,45
2.	0,020	0,90	1800		0,022	45,45
3.	0,250	0,21	700		1,190	0,84
4.	0,015	0,35	1200		0,042	23,80
hi					0,123	

resistenza termica	R	**1,44 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,69 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}44 - 2{,}5 = 1{,}06$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}06 \cdot 0{,}039 = 0{,}041$ m   s = 41 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **4 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}44 - 3{,}33 = 1{,}89$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}89 \cdot 0{,}039 = 0{,}074$ m   s = 74 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **7 cm** di isolante in lana di roccia.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 1{,}44 - 5{,}00 = 3{,}56$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 3{,}56 \cdot 0{,}039 = 0{,}139$ m   s = 139 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con **14 cm** di isolante in lana di roccia.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. blocchi in laterizio alveolati 25 cm
3. isolante in lana di roccia 6 cm
4. cartongesso 1,3 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
he					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,250		800	1,15*	0,867	1,15
3.	0,060	0,039**	80		1,538	0,65
4.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
hi					0,123	

*dati schede tecniche produttori

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: Labelrock (λ = 0,035W/mK)

resistenza termica	R	**2,65 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,38 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,65 - 3,33 = 0,68$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,68 \cdot 0,039 = 0,026$ m   s = 26 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 3 cm di isolante in lana di roccia. Lo strato isolante dovrebbe diventare di **9 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,65 - 5,00 = 2,35$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,35 \cdot 0,039 = 0,091$ m   s = 91 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 9 cm di isolante in lana di roccia. Lo strato isolante (3) dovrebbe diventare di **15 cm**.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. isolante in lana di roccia 4 cm
3. blocchi in laterizio alveolati 25 cm
4. isolante in lana di roccia 6 cm
5. cartongesso 1,3 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,040	0,039**	80		1,026	0,98
3.	0,250		800	1,15*	0,867	1,15
4.	0,060	0,039**	80		1,538	0,65
5.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
h_i					0,123	

*dati schede tecniche produttori

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: Coverrock 035 (λ = 0,036W/mK)

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: Labelrock (λ = 0,035W/mK)

resistenza termica	R	**3,68 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,27 W/m²K**

incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

questa stratificazione presenta un buon comportamento termoisolante, adeguato a conseguire uno standard di un low energy building, poichè presenta una doppia stratificazione isolante, a controparete interna e a cappotto esterna, con uno spessore isolante totale di 10 cm.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3,68 - 5,00 = 1,32$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1,32 \cdot 0,039 = 0,051$ m s = 51 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 5 cm di isolante in lana di roccia. Gli strati isolanti (2 e 4) dovrebbe essere di **9+6 cm**.

1. intonaco plastico 2 cm
2. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
3. mattoni semipieni in laterizio 12 cm
4. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
5. isolante in lana di roccia 6 cm
6. cartone bitumato 0,3 cm
7. blocchi forati in gesso 8 cm
8. rasatura in gesso 0,5 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,90	1000		0,022	45,45
2.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
3.	0,120			4,16	0,240	4,16
4.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
5.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
6.	0,003	0,50	1600		0,006	166,66
7.	0,080	0,25	600		0,320	3,12
8.	0,005	0,35	1200		0,014	23,80
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**2,34 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,43 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,34 - 2,50 = 0,16$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 0,16 \,.\, 0,039 = 0,006$ m   s = 6 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 1 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (5) dovrebbe diventare di **7 cm**.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,34 - 3,33 = 0,99$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 0,99 \,.\, 0,039 = 0,038$ m   s = 38 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (5) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,34 - 5,00 = 2,66$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 2,66 \,.\, 0,039 = 0,103$ m   s = 103 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (5) dovrebbe diventare di **16 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m^3	C W/m^2K	R m^2K/W	U W/m^2K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,90	1000		0,022	45,45
2.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
3.	0,120			4,16	0,240	4,16
4.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
5.	0,080			5,00	0,200	5,00
6.	0,015	0,35	1200		0,042	23,80
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**2,23 m^2K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,45 W/m^2K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m^2K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,23 - 2,50 = 0,27\ m^2K/W$
$s = \Delta R . \lambda = 0,27 . 0,039 = 0,011$ m s = 11 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 1 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **7 cm**.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m^2K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,23 - 3,33 = 1,11\ m^2K/W$
$s = \Delta R . \lambda = 1,11 . 0,039 = 0,043$ m s = 43 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m^2K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,23 - 5,00 = 2,77\ m^2K/W$
$s = \Delta R . \lambda = 2,77 . 0,039 = 0,108$ m s = 108 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. blocchi in laterizio alveolati 12 cm
3. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
4. isolante in lana di roccia 8 cm
5. tavelle in laterizio alveolati 12 cm
6. intonaco in gesso 1,5 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,120		840	3,24*	0,309	3,24
3.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
4.	0,080	0,039**	80		2,051	0,49
5.	0,120		840	3,24*	0,309	3,24
6.	0,015	0,35	1200		0,043	23,33
h_i					0,123	

*dati schede tecniche produttori

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**2,91 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,34 W/m²K**

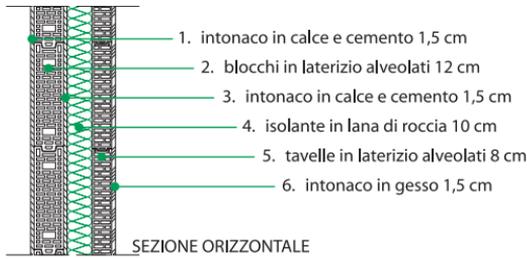
incremento prestazionale e retrofit energetico

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,91 - 3,33 = 0,42$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,42 \cdot 0,039 = 0,016$ m   s = 16 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 2 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,91 - 5,00 = 2,09$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,09 \cdot 0,039 = 0,081$ m   s = 81 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 8 cm di isolante in lana di roccia. Lo strato isolante (4) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. blocchi in laterizio alveolati 12 cm
3. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
4. isolante in lana di roccia 10 cm
5. tavelle in laterizio alveolati 8 cm
6. intonaco in gesso 1,5 cm

SEZIONE ORIZZONTALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m^3	C W/m^2K	R m^2K/W	U W/m^2K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,9	1800		0,017	60,00
2.	0,120		840	3,24*	0,309	3,24
3.	0,015	0,9	1800		0,017	60,00
4.	0,100	0,039**	80		2,564	0,39
5.	0,080		840	3,76*	0,266	3,76
6.	0,015	0,35	1200		0,043	23,33
h_i					0,123	

*dati schede tecniche produttori

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**3,38 m^2K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,30 W/m^2K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

questa stratificazione presenta un buon comportamento termoisolante, adeguato a conseguire uno standard di un low energy building, grazie alla massa degli elementi in laterizio alleggerito e alle prestazioni termiche dell'elemento isolante.

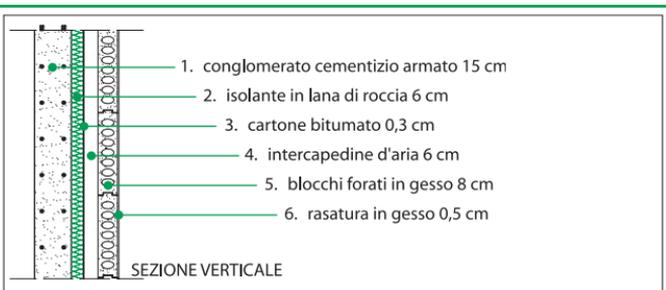
verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m^2K)

$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3{,}38 - 5{,}00 = 1{,}62\ m^2K/W$

$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}62 \cdot 0{,}039 = 0{,}063\ m$ s = 63 mm

Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 6 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. conglomerato cementizio armato 15 cm
2. isolante in lana di roccia 6 cm
3. cartone bitumato 0,3 cm
4. intercapedine d'aria 6 cm
5. blocchi forati in gesso 8 cm
6. rasatura in gesso 0,5 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,150	1,91	2400		0,078	45,45
2.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
3.	0,003	0,50	1600		0,006	166,66
4.	0,060			6,40	0,156	6,40
5.	0,080	0,25	600		0,320	3,12
6.	0,005	0,35	1200		0,014	23,80
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**2,28 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,44 W/m²K**

incremento prestazionale

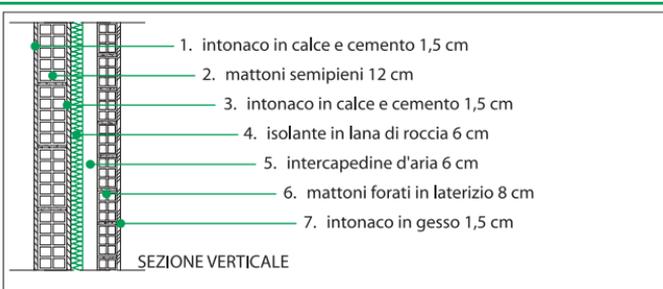
calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,28 - 2,50 = 0,22$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,22 \cdot 0,039 = 0,009$ m   s = 9 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 1 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **7 cm**.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,28 - 3,33 = 1,05$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1,05 \cdot 0,039 = 0,041$ m   s = 41 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,28 - 5,00 = 2,72$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,72 \cdot 0,039 = 0,106$ m   s = 106 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
2. mattoni semipieni 12 cm
3. intonaco in calce e cemento 1,5 cm
4. isolante in lana di roccia 6 cm
5. intercapedine d'aria 6 cm
6. mattoni forati in laterizio 8 cm
7. intonaco in gesso 1,5 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s	λ	ρ	C	R	U
	m	W/mK	Kg/m³	W/m²K	m²K/W	W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,120			4,16	0,240	4,16
3.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
4.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
5.	0,060			6,40	0,156	6,40
6.	0,080	0,25	600		0,320	3,12
7.	0,015	0,35	1200		0,043	23,33
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**2,50 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,40 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s) da collocare in intercapedine

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,50 - 3,33 = 0,84$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 0,84 \,.\, 0,039 = 0,032$ m s = 32 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 3 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **9 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,50 - 5,00 = 2,50$ m²K/W
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 2,50 \,.\, 0,039 = 0,097$ m s = 97 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **16 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
2.	0,200	0,17	500		1,176	0,85
3.	0,080	0,039*	80		2,051	0,49
4.	0,075	0,17	500		0,441	2,27
5.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**3,87 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,26 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3,87 - 5,00 = 1,13$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1,13 \cdot 0,039 = 0,044$ m   s = 44 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **12 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m^3	C W/m^2K	R m^2K/W	U W/m^2K
h_e					0,043	
1.	0,060	0,38	1000		0,158	6,36
2.	0,100	0,039*	80		2,564	0,39
3.	0,060	0,38	1000		0,158	6,36
4.	0,015	0,90	1800		0,017	60,00
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R	**3,06 m^2K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,33 W/m^2K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m^2K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3{,}06 - 3{,}33 = 0{,}27\ m^2K/W$
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 0{,}27 \,.\, 0{,}039 = 0{,}011\ m$ s = 11 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 1 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **11 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m^2K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3{,}06 - 5{,}00 = 1{,}94\ m^2K/W$
$s = \Delta R \,.\, \lambda = 1{,}94 \,.\, 0{,}039 = 0{,}076\ m$ s = 76 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 8 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **18 cm**.

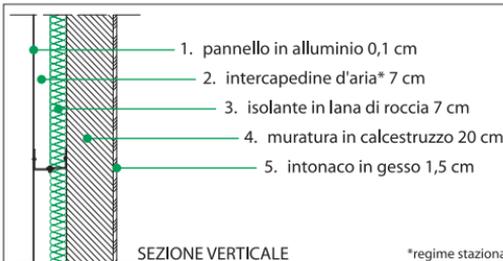
strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,60	1800		0,033	30,00
2.	0,040			6,40	0,156	6,40
3.	0,100	0,039*	80		2,564	0,39
4.	0,080	0,25	600		0,320	3,12
5.	0,005	0,35	1200		0,014	23,80
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 225 (λ = 0,034W/mK)

resistenza termica	R **3,25 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U **0,31 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3,25 - 5,00 = 1,75$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1,75 \cdot 0,039 = 0,068$ m   s = 68 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 7 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **17 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,001	220	2700		0,000	-
2.	0,070			6,40	0,156	6,40
3.	0,070	0,039**	80		1,795	0,56
4.	0,200	0,65	1500		0,308	3,25
5.	0,015	0,35	1200		0,042	23,80
h_i					0,123	

**Prodotto ROCKWOOL consigliato: RP-KD 035 VS (λ = 0,035W/mK)

resistenza termica	R	**2,47 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,41 W/m²K**

incremento prestazionale

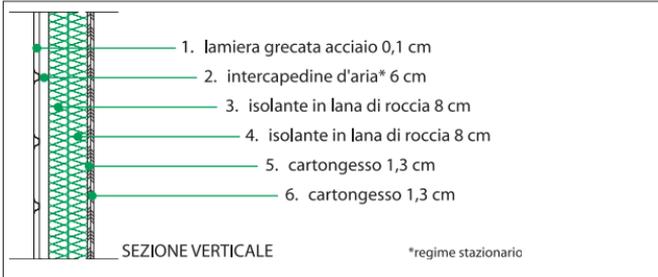
calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *low energy building* ($U=0,3\ W/m^2K$)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,47 - 3,33 = 0,87\ m^2K/W$
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,87 \cdot 0,039 = 0,034\ m$ s = 34 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 3 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* ($U=0,2\ W/m^2K$)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,47 - 5,00 = 2,53\ m^2K/W$
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,53 \cdot 0,039 = 0,099\ m$ s = 99 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **17 cm**.

1. lamiera grecata acciaio 0,1 cm
2. intercapedine d'aria* 6 cm
3. isolante in lana di roccia 8 cm
4. isolante in lana di roccia 8 cm
5. cartongesso 1,3 cm
6. cartongesso 1,3 cm

SEZIONE VERTICALE

*regime stazionario

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,001	52	7800		0,000	-
2.	0,060			6,40	0,156	6,40
3.	0,080	0,039*	80		2,051	0,49
4.	0,080	0,039*	80		2,051	0,49
5.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
6.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
h_i					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 234 ($\lambda = 0{,}035$W/mK)

resistenza termica	R	**4,55 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,22 W/m²K**

1. lastra in fibrocemento 1,3 cm
2. isolante in lana di roccia 6 cm
3. isolante in lana di roccia 7 cm
4. isolante in lana di roccia 6 cm
5. cartongesso 1,3 cm
6. cartongesso 1,3 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
he					0,043	
1.	0,013	0,60	1800		0,022	46,15
2.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
3.	0,070	0,039*	80		1,795	0,56
4.	0,060	0,039*	80		1,538	0,65
5.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
6.	0,013	0,21	900		0,062	16,15
hi					0,123	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 234 (λ = 0,035W/mK)

resistenza termica	R **5,18 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U **0,19 W/m²K**

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,43	1200		0,047	21,50
2.	0,080			6,98	0,143	6,98
3.	0,060	0,038*	100		1,579	0,63
4.	0,240			2,56	0,391	2,56
5.	0,020	0,70	1400		0,029	35,00
h_i					0,107	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 234 (λ = 0,035W/mK)

resistenza termica	R	**2,34 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,43 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *edificio energicamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2{,}34 - 2{,}50 = 0{,}16$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0{,}16 \cdot 0{,}038 = 0{,}006$ m   s = 6 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 1 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **7 cm**.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2{,}34 - 3{,}33 = 1{,}00$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 1{,}00 \cdot 0{,}038 = 0{,}038$ m   s = 38 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2{,}34 - 5{,}00 = 2{,}66$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2{,}66 \cdot 0{,}038 = 0{,}101$ m   s = 101 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. tegola piana marsigliese 2 cm
2. intercapedine d'aria 5 cm
3. assito 2 cm
4. intercapedine d'aria* 8 cm
5. isolante in lana di roccia 10 cm
6. assito 2 cm

SEZIONE VERTICALE

* regime stazionario

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,020	0,43	1200		0,047	21,50
2.	0,050			6,98	0,143	6,98
3.	0,020	0,15	550		0,133	7,50
4.	0,080			6,98	0,143	6,98
5.	0,100	0,038*	100		2,632	0,38
6.	0,020	0,15	550		0,133	7,50
h_i					0,107	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 444 (λ = 0,036 W/mK)

resistenza termica	R	**3,38 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,30 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

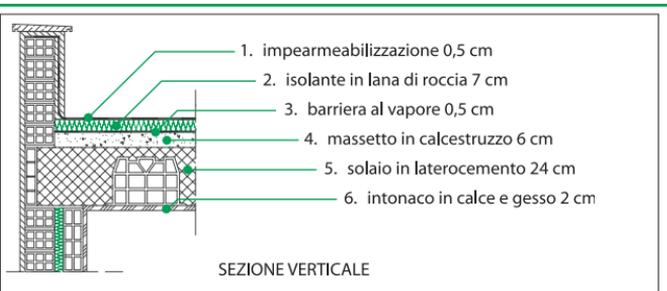
verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)

$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 3{,}38 - 5{,}00 = 1{,}62$ m²K/W

$s = \Delta R \,.\, \lambda = 1{,}62 \,.\, 0{,}038 = 0{,}062$ m s = 62 mm

Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 6 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (5) dovrebbe diventare di **16 cm**.

1. impearmeabilizzazione 0,5 cm
2. isolante in lana di roccia 7 cm
3. barriera al vapore 0,5 cm
4. massetto in calcestruzzo 6 cm
5. solaio in laterocemento 24 cm
6. intonaco in calce e gesso 2 cm

SEZIONE VERTICALE

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,005	0,70	2100		0,007	140,00
2.	0,070	0,044*			1,591	0,63
3.	0,005	0,17	1200		0,029	34,00
4.	0,060	0,22	500		0,273	3,67
5.	0,240			2,56	0,390	2,56
6.	0,020	0,70	1400		0,029	35,00
h_i					0,107	

resistenza termica	R	**2,47 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,40 W/m²K**

*Valore calcolato in riferimento al paragrafo 4.6 della norma UNI 10351 a partire dal valore λ = 0,040 W/mK del prodotto Rockwool 369 T-Rock a cui è stata applicata una maggiorazione del 10%.

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s) da collocare in intercapedine

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,47 - 3,33 = 0,86$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,86 \cdot 0,044 = 0,038$ m   s = 38 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 4 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **11 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,47 - 5,00 = 2,53$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,53 \cdot 0,044 = 0,111$ m   s = 111 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 11 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (2) dovrebbe diventare di **18 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
he					0,043	
1.	0,010	1,0	2300		0,010	100,00
2.	0,050	0,22	500		0,227	4,40
3.	0,005	0,70	2100		0,007	140,00
4.	0,070	0,044*			1,591	0,63
5.	0,005	0,17	1200		0,029	34,00
6.	0,050	0,22	500		0,227	4,40
7.	0,240			2,56	0,391	2,56
8.	0,015	0,70	1400		0,021	46,67
hi					0,107	

resistenza termica	R	**2,65 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,38 W/m²K**

*Valore calcolato in riferimento al paragrafo 4.6 della norma UNI 10351 a partire dal valore λ = 0,040 W/mK del prodotto Rockwool 369 T-Rock a cui è stata applicata una maggiorazione del 10%.

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s) da collocare in intercapedine

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,65 - 3,33 = 0,68$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 0,68 \cdot 0,044 = 0,029$ m s = 29 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 3 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **10 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin} = 2,65 - 5,00 = 2,35$ m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda = 2,35 \cdot 0,044 = 0,103$ m s = 103 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 10 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (4) dovrebbe diventare di **17 cm**.

strati	s m	λ W/mK	ρ Kg/m³	C W/m²K	R m²K/W	U W/m²K
h_e					0,043	
1.	0,001	220	2700		0,000	-
2.	0,140			6,98	0,143	6,98
3.	0,060	0,038*	100		1,579	0,63
4.	0,020	0,70	1400		0,029	35,00
h_i					0,107	

*Prodotto ROCKWOOL consigliato: 444 (λ = 0,036 W/mK)

resistenza termica	R	**1,90 m²K/W**
trasmittanza termica (1/R)	U	**0,53 W/m²K**

incremento prestazionale

calcolo dello spessore dello strato isolante integrativo (s)
da collocare in intercapedine

verso standard *edificio energeticamente efficiente* (U=0,4 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin}$ = 1,90 - 2,50 = 0,60 m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda$ = 0,60 . 0,038 = 0,023 m s = 23 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 2 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **8 cm**.

verso standard *low energy building* (U=0,3 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin}$ = 1,90 - 3,33 = 1,43 m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda$ = 1,43 . 0,038 = 0,054 m s = 54 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 6 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **12 cm**.

verso standard *passivhaus* (U=0,2 W/m²K)
$\Delta R = R_{ini} - R_{fin}$ = 1,90 - 5,00 = 3,10 m²K/W
$s = \Delta R \cdot \lambda$ = 3,10 . 0,038 = 0,118 m s = 118 mm
Il pacchetto dovrebbe dunque essere integrato con 12 cm: quindi lo strato isolante in lana di roccia (3) dovrebbe diventare di **18 cm**.

IL CENTRO RICERCHE DI HEDEHUSENE: UN LOW ENERGY BUILDING SPERIMENTALE

2.3

Dovendo costruire una nuova sede del dipartimento di ricerca e sviluppo della Rockwool in Danimarca, destinata a ospitare 130 persone, è stata colta l'occasione per realizzare un edificio sperimentale, sul quale testare i paradigmi del risparmio energetico e dell'iperisolamento. L'obiettivo era di realizzare un *low energy building*, che potesse rientrare addirittura nello standard *passivhaus* di 15 kWh/m^{2}a, ma caratterizzato da soluzioni di involucro diverse da quelle normalmente adottate. Trattandosi infatti di uno spazio per uffici, l'esigenza era quella di avere superfici trasparenti più ampie e soffitti più alti rispetto a quelli che caratterizzano le *passivhaus* adibite a residenza. Finora le *passivhaus* costruite sono principalmente edifici unifamiliari, con ridotte aperture e un ridotto rapporto tra superficie disperdente e volume.
In questo caso invece l'edificio è di ampie dimensioni, proprio perché si tratta di un'opera destinata a uffici. Il rapporto tra superficie disperdente e volume in realtà diventa favorevole se gli edifici sono di grandi dimensioni mentre il caso della casa unifamiliare è l'esempio di dispersione massima nel calcolo del rapporto tra superficie disperdente e volume. Nello stesso tempo diminuisce il rapporto tra superficie calpestabile e volume complessivo, perché gli ambienti devono essere più ampi, con soffitti più alti (fig. 2). Inoltre, per garantire un'adeguata illuminazione naturale degli ambienti di lavoro, le superfici trasparenti, che sono le più disperdenti, devono essere più ampie rispetto alle superfici minime in genere adottate nelle passivhaus.

L'edificio è stato progettato tenendo conto dell'intero suo ciclo di vita. La sua vita utile (intesa come capacità di garantire le prestazioni a un livello adeguato) è stata stimata in 75 anni, anche se probabilmente la sua durata sarà superiore. Aver valutato la sua vita utile permette di fare delle considerazioni anche sugli investi-

descrizione del progetto

architetto: Jens Arnfred, Vandkunsten
engineering: Erik K. Jørgensen
contractor: Monberg & Thorsen

monitoraggio: Danish Building and Urban Research (BY&BYG) e Denmark's Technical University (DTU)

inizio progettazione: 17 giugno 1999
inizio cantiere: 10 novembre 1999
inaugurazione edificio: giugno 2000

fig. 1

fig. 2

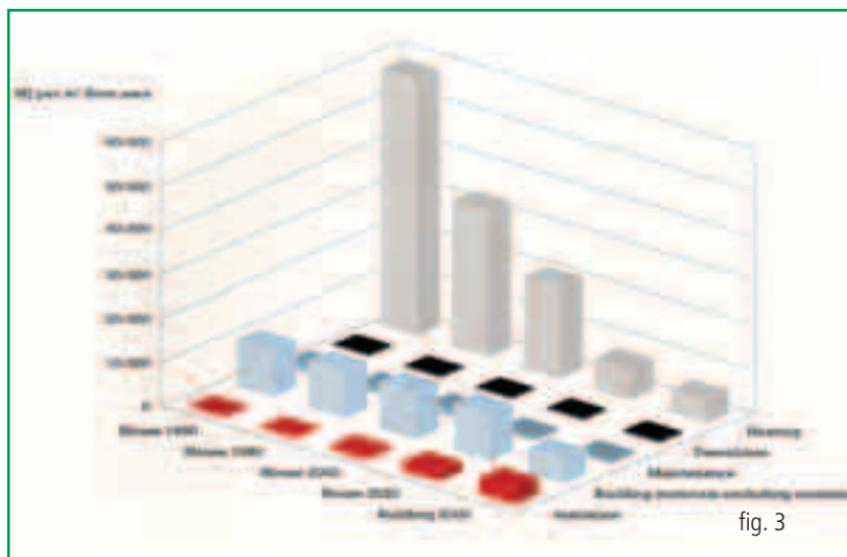
fig. 3

menti iniziali in materiali e tecnologie innovative che permettano di garantire un ritorno di investimento e prestazioni superiori durante la vita utile.
Per esempio le ampie superfici vetrate, vantaggiose dal punto di vista dell'ingresso della luce naturale e dunque del comfort visivo (e psicologico), avrebbero potuto rappresentare un elemento di debolezza sotto il profilo del risparmio energetico, andando a costituire una notevole superficie disperdente, se non si fossero adottate vetrate innovative, che garantiscono un elevato isolamento termico. Chiaramente tali vetrate hanno determinato un innalzamento dei costi in fase di costruzione, ampiamente ricompensato però nella fase di uso e gestione dell'edificio.
Stesso discorso vale anche per l'utilizzo dell'isolamento termico: sono state utilizzate quantità di materiale isolante nelle chiusure opache notevolmente superiori a quelle normalmente utilizzate nelle costruzioni tradizionali (facendo riferimento anche alle costruzioni tipiche della Danimarca, che è già un paese accorto sotto il profilo del risparmio energetico e dell'isolamento). L'innalzamento dei costi di costruzione dovuto all'impiego di maggiori quantità di materiale viene però completamente coperto durante la fase di gestione grazie al risparmio energetico ottenuto durante l'uso.
Dunque una corretta valutazione di costi e consumi è sempre una valutazione che prende in considerazione l'intero ciclo di vita dell'edificio: gli investimenti operati in fase di costruzione possono consentire di avere risparmi anche doppi o tripli durante la gestione, grazie al risparmio energetico (fig. 3).
Il problema nel settore delle costruzioni è che il più delle volte, soprattutto nel dif-

fig. 4

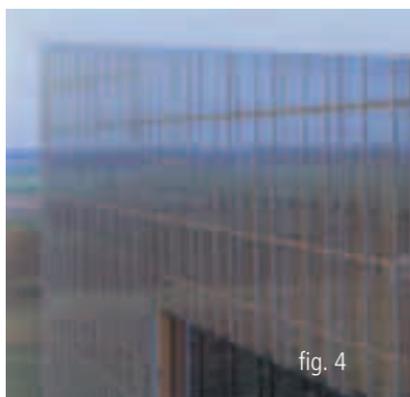
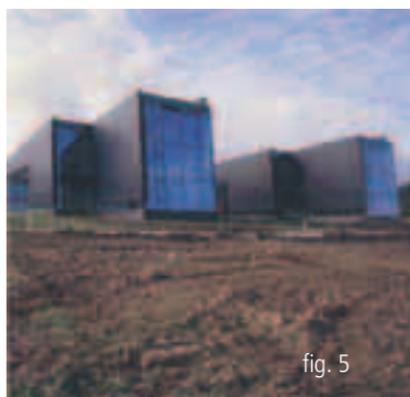



fig. 5

fig. 6

fuso, chi progetta e costruisce l'edificio non ha un committente definito e dunque si disinteressa della fase d'uso, che non gli compete, ottimizzando i profitti del processo di progettazione e costruzione. Questa spaccatura tra interessi del costruttore e interessi dell'utilizzatore determina la scarsa qualità dell'attuale costruito, su cui l'abitante ha sempre meno la capacità di avere influenza.

Una piccola speranza di cambiamento, almeno sotto il profilo del risparmio energetico, che è però solo un piccolo tassello verso la qualità dell'abitare, è offerta dalla direttiva sul rendimento energetico degli edifici, che, informando l'acquirente sui possibili risparmi in fase d'uso ottenibili in edifici energeticamente efficienti, forse avrà la capacità di orientare il mercato verso il risparmio energetico.

L'edificio di Hedehusene costituisce un esempio virtuoso di committenza capace di orientare il progetto e la costruzione. Ma anche un esempio quasi unico di edificio per uffici costruito per cercare di rientrare nello standard di un *low energy building*.

elementi costruttivi

superficie dell'edificio: 4.200 m^2
tipo di serramenti installati: Schüco FW 50 S.1
tipo di struttura portante: puntiforme in acciaio
strato isolante delle chiusure verticali opache: 450 mm
strato isolante dei solai: 250 mm
strato isolante della copertura: 500 mm

gestione

sistema automatizzato: sistema Siemens e WindowMaster per regolare l'illuminazione, l'apertura delle finestre e il riscaldamento.

monitoraggio

tipi di sensori utilizzati e posizione: sensori interni per il rilevamento della temperatura, dell'umidità dell'aria, della CO_2 e sensori esterni per il rilevamento dei parametri atmosferici (pioggia, temperatura esterna, velocità del vento).
ponti termici individuati durante il monitoraggio e azioni risolutive: l'isolamento delle fondazioni al di sotto dei convettori del riscaldamento è stato incrementato di 50 mm di lana di roccia.

ventilazione

tipo di ventilazione per aria calda e fredda: ventilazione naturale
sistema di distribuzione dell'aria calda: convettori a filo facciata
recupero di calore (da ventilazione): nessuno
scambiatore di calore: nessuno
sistema di canalizzazione interrata per raffrescamento: nessuno

costi

costo di costruzione dell'edificio: 1.825 EUR/m^2 (13.000 DKK), circa 35% in più rispetto a un edificio danese standard, di cui 20% per le misure di risparmio energetico e 15% per la protezione antincendio.
costo di sostituzione filtri: 0
investimenti in energie rinnovabili: collettori solari per la produzione di acqua calda. 5.000 EUR.

energia

quantità di energia utilizzata per il riscaldamento: 40 kWh/m^{2}a
quantità di energia elettrica e destinazione: 22 kWh/m^{2}a per illuminazione e 19 kWh/m^{2}a per usi tecnici

impianti solari

tipologia: collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria
superficie: 30 m^2
inclinazione: 45°
orientamento: sud
installazione: copertura
costo: 5000 EUR

L'edificio è costituito da due corpi longitudinali collegati in testata tra loro da un corpo trasversale. Nei nodi di incontro tra i volumi sono stati collocati gli spazi di servizio e di distribuzione verticale, con un ruolo dunque di cerniera (Fig. 7).
I tre volumi sono articolati in due fasce longitudinali destinate rispettivamente a open space distributivo e a laboratori: sono dunque presenti ampi spazi aperti a tutt'altezza o suddivisi tramite ballatoi, orientati verso ovest e verso nord, sui quali si affacciano i laboratori, ambienti chiusi e suddivisi, orientati verso est e verso sud (Fig. 1).
Le facciate rivolte a ovest dei due corpi principali, che contengono gli spazi aperti a doppia altezza, risultano completamente vetrate, con un sistema di chiusura a montanti e trasversi, ma quasi completamente ricoperte da uno strato di materiale isolante racchiuso in una vetrata che va a costituire una superficie percettivamente autonoma e schermante (fig. 4). Questa superficie rimane staccata da terra

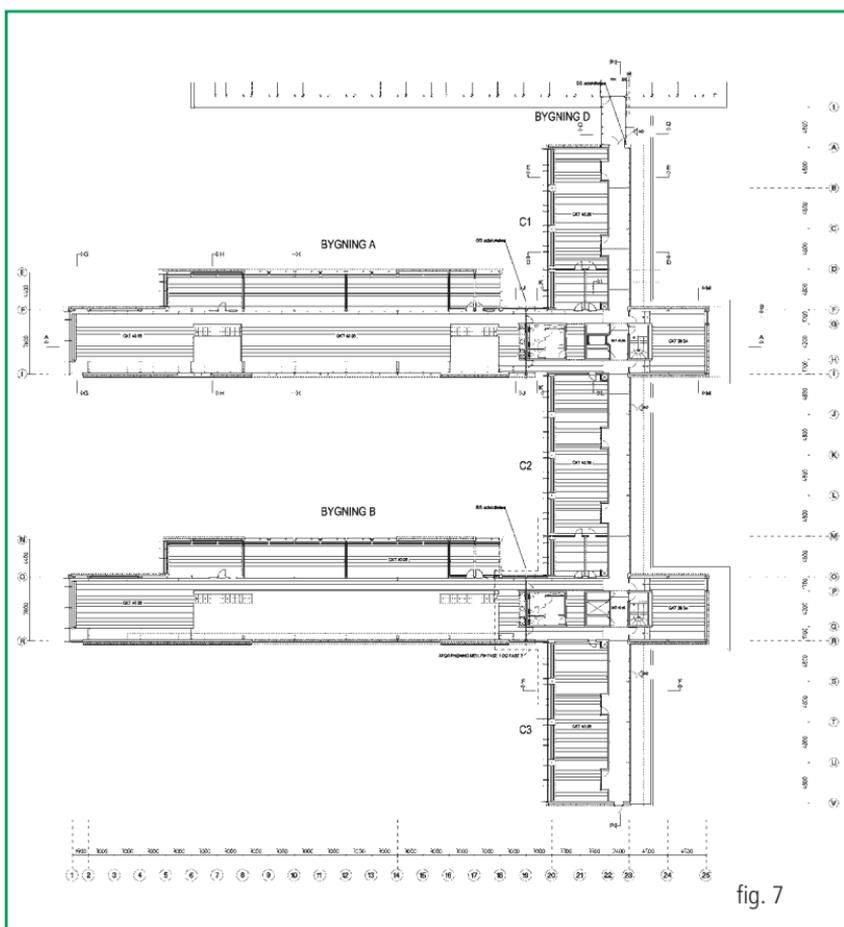
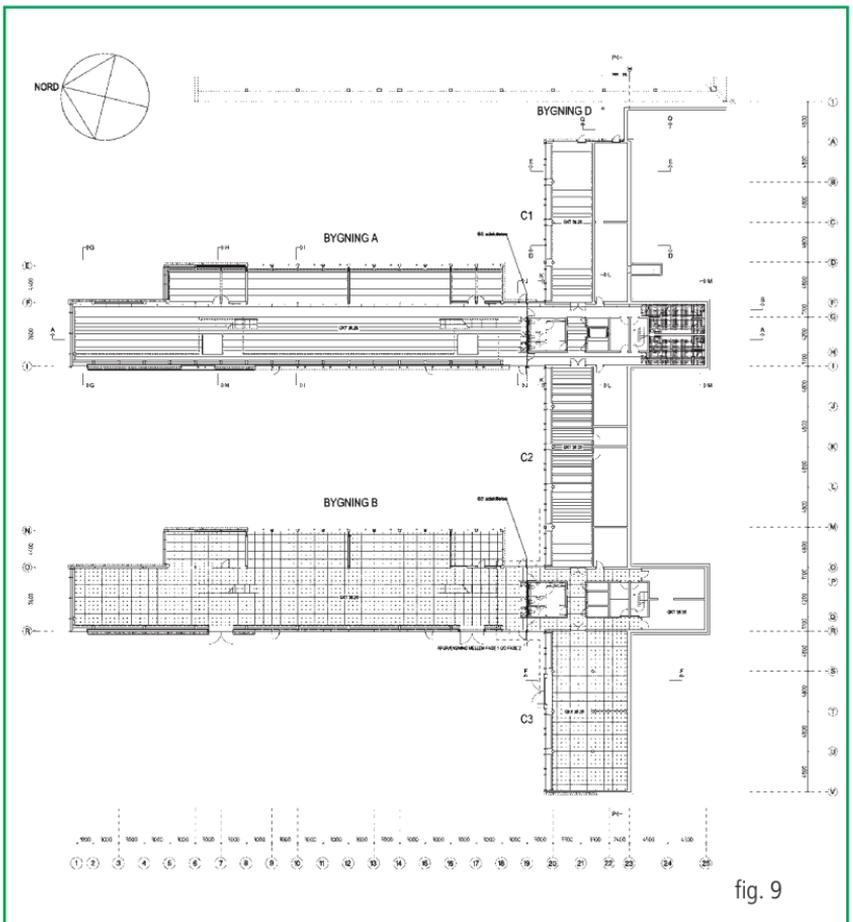
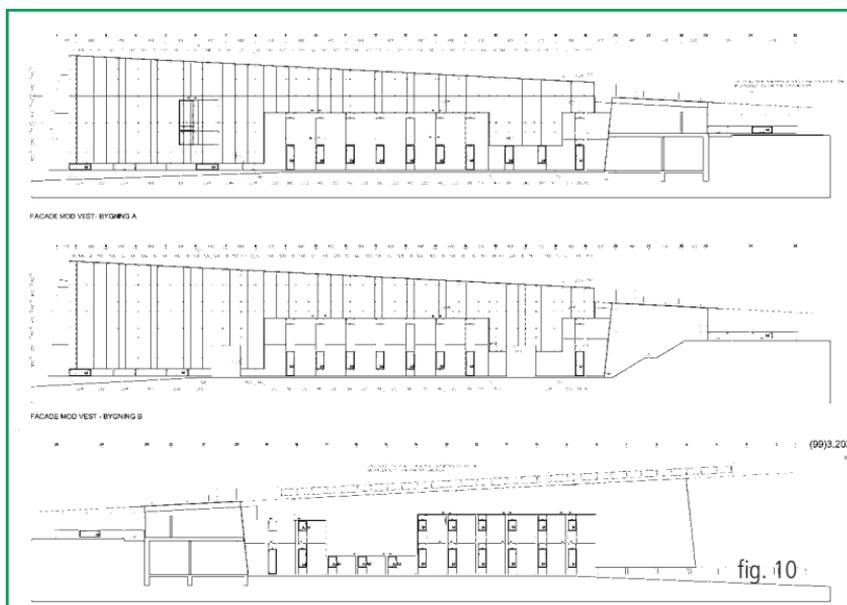
fig. 7

fig. 8

fig. 9

FACADE MOD VEST- BYGNING A

FACADE MOD VEST - BYGNING B

fig. 10

e come appesa, scoprendo parzialmente la vetrata sottostante (Fig. 8). Le facciate rivolte a est sono completamente opache (fig. 5).

I fronti rivolti a nord, sia dei due corpi longitudinali che del corpo trasversale, sono completamente vetrati, con un sistema di chiusura a montanti e traversi, per poter captare la maggiore quantità di luce diffusa. Il fronte sud è un fronte parzialmente interrato, di cui sporge in superficie solo il secondo piano, lasciando percepire a chi arriva al centro ricerche dalla strada l'altezza di un solo piano, completamente vetrato (Fig. 11). Infatti è presente una lieve scarpata su cui è stato 'adagiato' l'edificio, per cui i locali al primo piano hanno un unico affaccio verso nord (fig. 6).

I volumi sono caratterizzati da un'inclinazione degli elementi di chiusura che ne riduce la rigidità geometrica, migliorando al contempo il defluire della neve in copertura e l'ingresso della luce dalle chiusure verticali (Fig. 12).

fig. 11

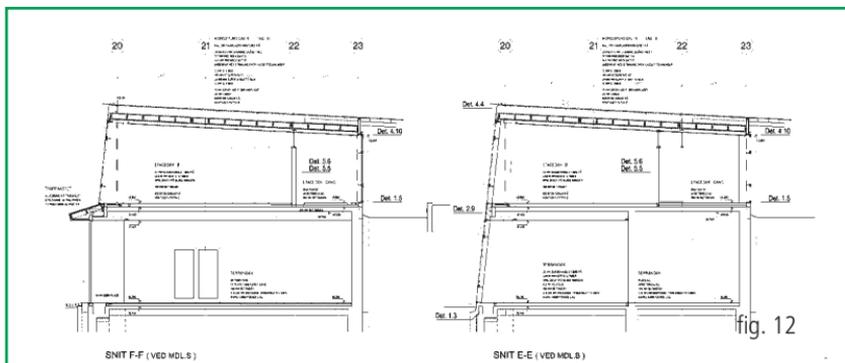



fig. 12

Nel punto di attacco a terra delle chiusure, all'incontro con la struttura in cemento armato, l'ultimo giunto della facciata collega da un lato la tripla lastra vetrata con doppia camera interna e dall'altro l'isolamento contro terra (protetto da imper-

fig. 13

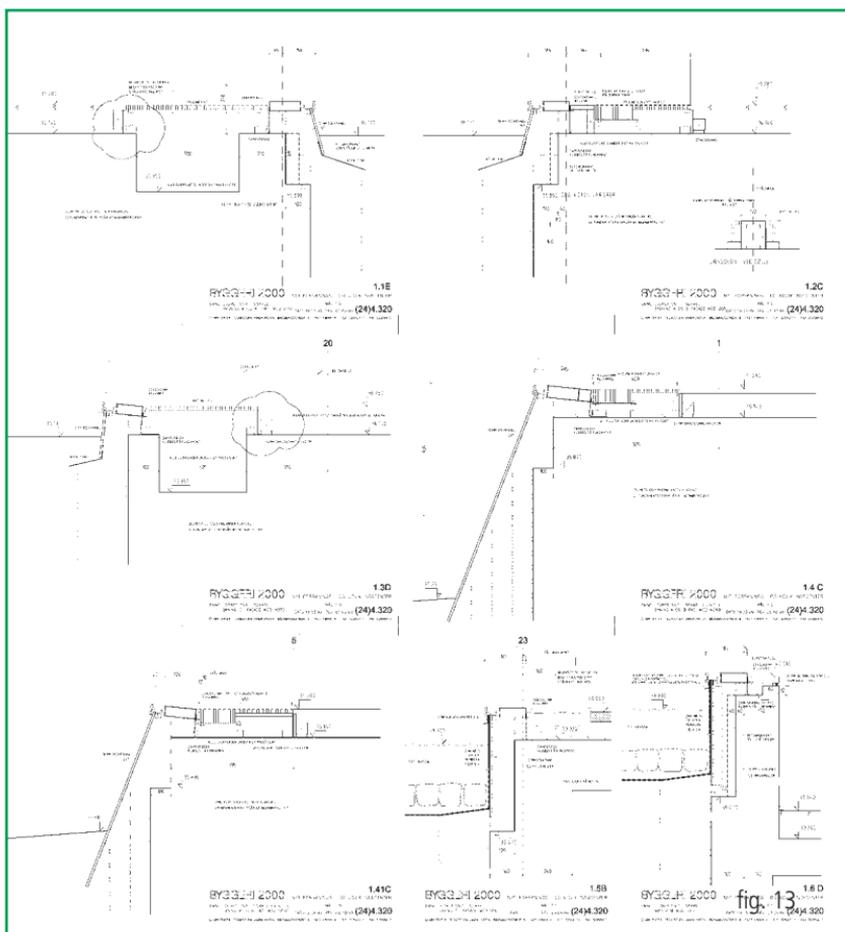
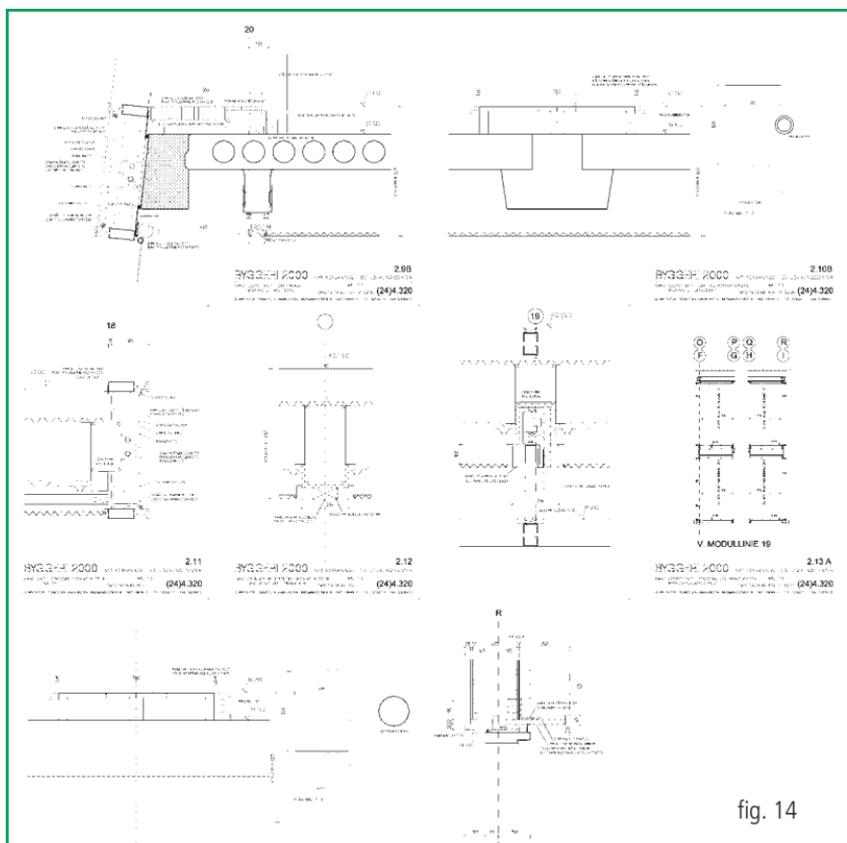
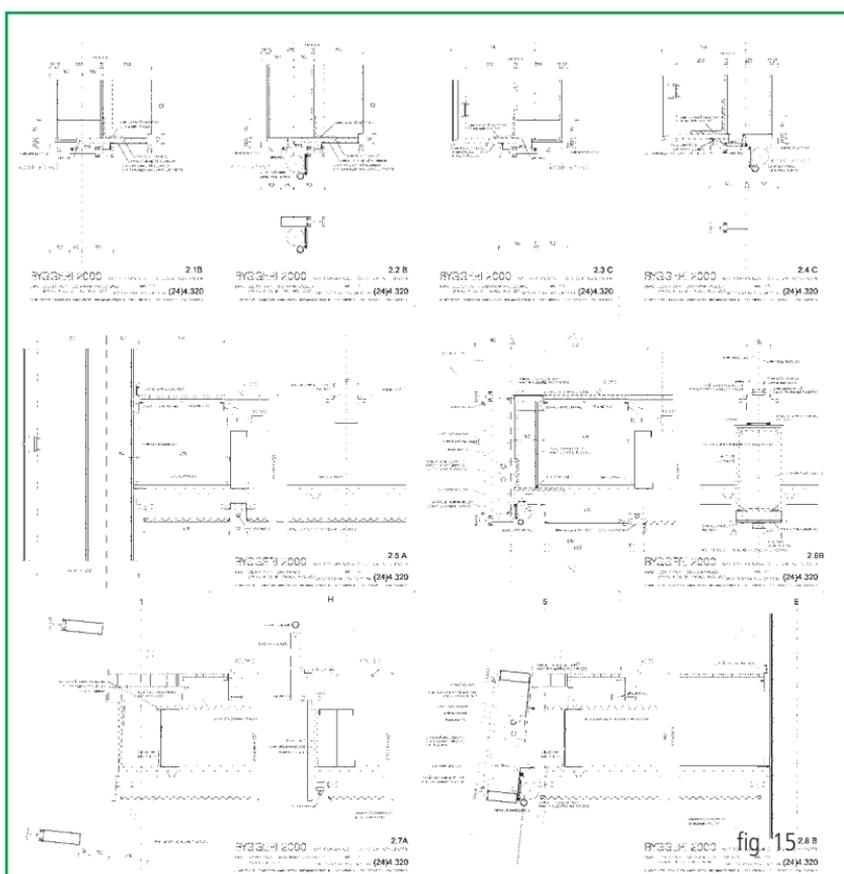
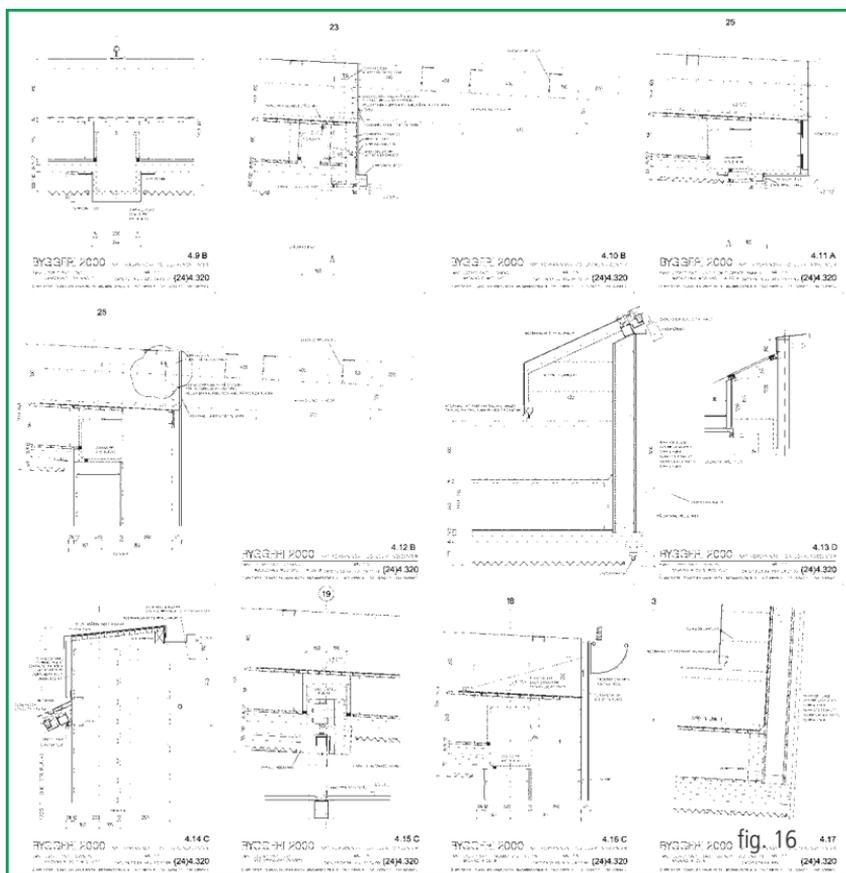



fig. 14

meabilizzazione) a protezione degli spazi interrati (Fig. 13). In corrispondenza di tale giunto, a filo dunque della facciata vetrata, è posizionato a pavimento un vano impiantistico, nascosto da una griglia, che permette di realizzare un cavedio per la ventilazione degli ambienti interni. Una lama d'aria lambisce la vetrata, garantendo dunque una temperatura superficiale simile alla temperatura interna e dunque assicurando la percezione di comfort termoigrometrico (fig. 20).
La struttura portante dell'edificio è in travi di acciaio. I solai sono stratificati a secco, con una struttura interna di profilati a freddo e impalcato in pannelli di legno incollati a fibre orientate. Le chiusure sono realizzate con una sottostruttura a montanti e traversi fissata alla struttura portante in corrispondenza dei solai (Fig. 14).
Quella che percettivamente viene vista come una superficie appesa in materiale isolante è in realtà un raddoppio dello spessore isolante della parte opaca della facciata: laddove il serramento vetrato si interrompe, la parte opaca è costituita da due strati di materiale isolante da 22 cm verso l'interno e da 25 cm verso l'esterno, per uno spessore complessivo di 47 cm (Fig. 15). Rimanendo questo spessore

da 25 cm in aggetto rispetto al filo dell'involucro vetrato, percettivamente lo si interpreta come superficie 'aggiunta'. Il rivestimento scelto per la porzione opaca di facciata è sempre il vetro, sostenuto da un'intelaiatura in aggetto, lasciando dunque visibile il materiale isolante. Viene a configurarsi una sorta di facciata ventilata, in cui però il rivestimento è in vetro temprato.
Le facciate a est sono invece completamente opache e costituite sempre dal doppio strato isolante da 47 cm rivestito esternamente da una lamiera di alluminio.
La copertura è anch'essa caratterizzata dall'uso di un doppio strato di materiale isolante, da 30 cm e da 19 cm, per uno spessore complessivo di 49 cm (Figg. 16), con finitura interna tramite controsoffitto in cartongesso con isolante acustico e finitura esterna in pannelli di alluminio. L'aggraffatura delle lastre in alluminio è nella direzione longitudinale, per cui sono state collocate lastre da 70 metri di lunghezza: essendo impossibile trasportarle, sono state prodotte in sito, tramite una macchina laminatrice mobile (fig. 19).

fig. 15

fig. 16

Per evitare ponti termici tutte le strutture in acciaio sono protette da coibentazione. Inoltre i profili in acciaio che rimangono a vista all'interno dell'edificio sono strati protetti da isolante e cartongesso per garantire una adeguata resistenza al fuoco in caso di incendio.

Sulla copertura sono stati installati 33 m^2 di pannelli solari che producono acqua calda sanitaria per i bagni (fig. 18).
Il sistema di riscaldamento dell'edificio è alimentato a gas naturale. Gli elementi scaldanti sono radiatori a parete. Questo sistema di riscaldamento entra in funzione solo nei periodi estremamente freddi, oppure dopo periodi di chiusura prolungati che portano a un abbassamento della temperatura dovuto all'essenza di apporti interni (presenza di persone, computer, illuminazione, macchinari in genere...). Infatti le *passivhaus* sfruttano le caratteristiche dell'involucro iperisolato e dunque l'assenza di dispersioni termiche attraverso l'involucro, per 'riscaldare' gli ambienti interni con ridotti apporti termici: è sufficiente il calore generato dalle per-

fig. 17

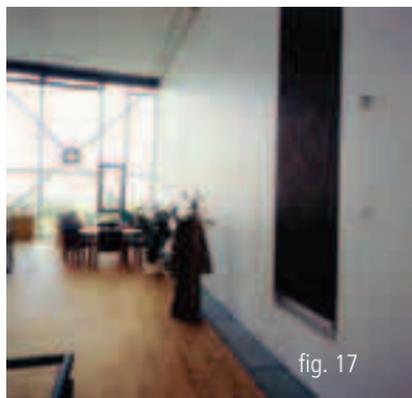
fig. 18

sone presenti o dal funzionamento delle apparecchiature elettriche o dalle lampade per l'illuminazione a fornire i watt necessari per scaldare gli ambienti. Per esempio un computer produce circa 4 kWh (15 MJ) di energia al giorno sotto forma di calore durante il funzionamento; una fotocopiatrice produce circa 12 kWh (45 MJ) al giorno di calore. Nel calcolo del bilancio energetico dell'edificio questi apporti

fig. 19

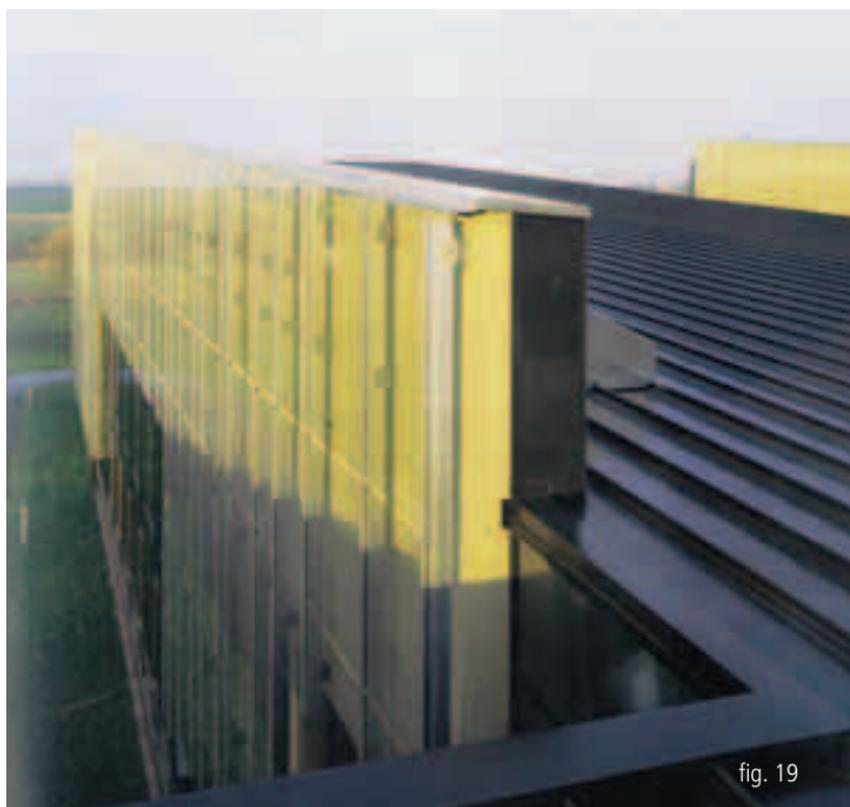
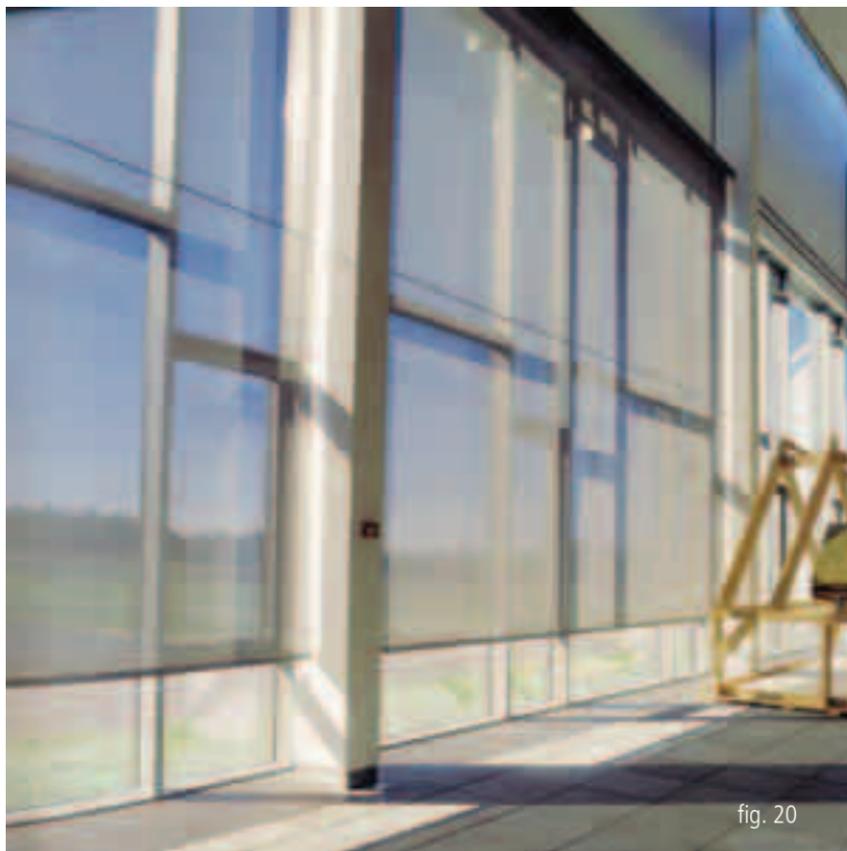



fig. 20

interni vengono conteggiati tra i guadagni gratuiti: nelle *passivhaus* il loro ruolo è notevole.
Gli altri guadagni gratuiti sono i guadagni solari che avvengono attraverso le vetrate. L'ampiezza delle superfici trasparenti contribuisce inoltre a un maggiore sfruttamento della luce naturale e riduce dunque i consumi di energia elettrica.

La ventilazione è uno degli aspetti di maggiore rilievo nella progettazione delle *passivhaus*, che essendo iperisolate e dunque sigillate per impedire la dispersione di energia termica, devono avere adeguati sistemi di ricambio dell'aria, per il comfort termoigrometrico e per il controllo dell'umidità interna (al fine di evitare fenomeni di condensa). L'edificio di Hedehusene è stato progettato per avere un sistema di ricambio dell'aria naturale, per evitare l'uso di sistemi di ventilazione meccanica. Il sistema di controllo è diviso in 25 zone, dove sensori misurano la temperatura interna, l'umidità relativa e il livello di CO_2 (fattore che determina la percezione di aria 'pulita' o 'consumata'; valore di Pettenkofer massimo ammissibile di

fig. 21

fig. 22

concentrazione di CO_2 in un ambiente confinato è di 0,1%). Sensori esterni rilevano la temperatura esterna, la velocità del vento, la direzione del vento e il livello delle precipitazioni. Un computer analizza tutti questi dati e determina l'apertura automatica del numero e posizione di finestre opportuno, oltre al periodo di tempo opportuno. Gli impiegati possono comunque intervenire manualmente aprendo finestre e regolando l'erogazione di calore.

L'effetto camino garantito dalla presenza di aperture sulla sommità della copertura e la pressione del vento permettono dunque un ricambio dell'aria naturale (figg. 21-23). Ovviamente la forma e l'orientamento dell'edificio hanno un ruolo determinante nel corretto funzionamento di un sistema di questo genere.

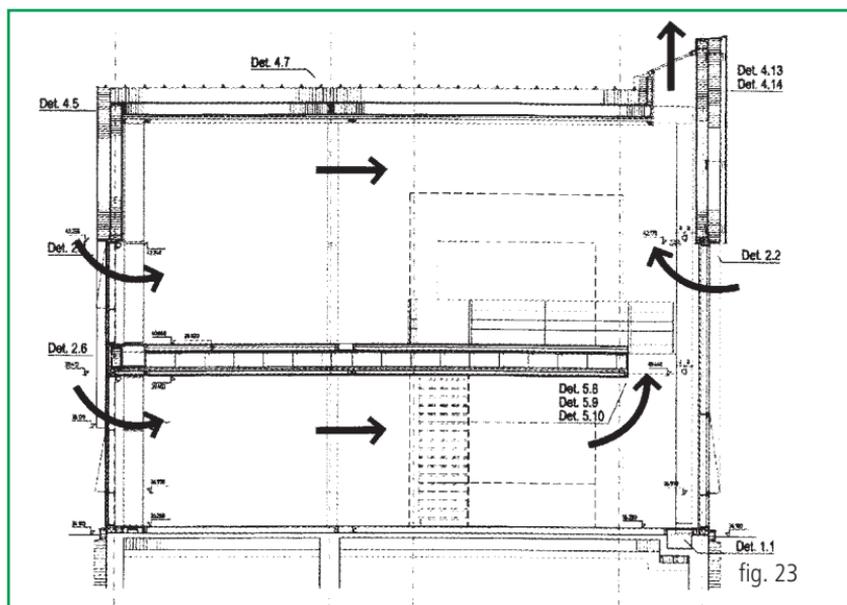



fig. 23

Durante la stagione calda l'edificio viene raffrescato durante la notte grazie all'apertura delle finestre alte.

L'ingresso della luce naturale negli ambienti è stato un obiettivo prioritario in questo edificio, per orientarsi a un modello di edificio che, pur rispettando lo standard 'l*ow energy building*' o '*passivhaus*', individui soluzioni tecnico-costruttive alternative alla riduzione delle superfici trasparenti (per evitare le dispersioni termiche) che in genere vengono prescritte per le *passivhaus*. Infatti in ambienti lavorativi la luce naturale non è solo un fattore di risparmio energetico ulteriore, poiché abbassa i consumi relativi all'illuminazione artificiale, ma è anche un fattore di miglioramento della qualità ambientale che aumenta la produttività e la percezione psicologica positiva dello spazio lavorativo (fig. 24).
Le superfici vetrate costituiscono il 35% della superficie calpestabile. Se si pensa che il rapporto di aeroilluminazione in Italia prescrive un minimo del 10% e che normalmente gli edifici in Europa presentano superfici trasparenti pari al 15-20% della superficie calpestabile, arrivare a 35% costituisce un incremento notevole.

fig. 24

Le vetrate sono costituite da una tripla lastra, con due lastre 'coated' (ossia con la superficie verso l'intercapedine rivestita da un deposito metallico invisibile che aumenta la capacità isolante del vetro) e gas kripton in intercapedine. La trasmittanza termica ottenuta per questi elementi è di 0,45 W/m^2K per la sola vetrata e di 0,85 W/m^2K complessivi per la vetrata con telaio. Valori quindi particolarmente bassi, specialmente se messi a confronto con le chiusure opache.

Va sottolineato che il fascino per le ampie superfici vetrate in Italia sta generando l'effetto opposto di uso indiscriminato, soprattutto per gli edifici per uffici e terziari. Un eccessivo uso di superfici trasparenti alle nostre latitudini rischia di essere dannosa sia dal punto di vista del risparmio energetico, per gli eccessivi guadagni solari durante la lunga stagione calda, sia dal punto di vista del comfort, per surriscaldamento delle superfici perimetrali e per fenomeni di abbagliamento. Ne consegue la necessità di saper dosare superfici trasparenti e opache e soprattutto di saper correttamente schermare le superfici trasparenti durante la stagione estiva, tramite elementi in aggetto e soluzioni ad assetto variabile.
Il caso di Hedehusene è dunque un interessante sperimentazione sulle possibili evoluzioni tipologiche e costruttive degli edifici passivi, ma va fortemente relazionata al contesto climatico di appartenenza e dunque non assunta a soluzione tecnico-costruttiva importabile senza i dovuti adattamenti, in Italia.

ISOLAMENTO TERMICO RISPARMIO ENERGETICO E RIDUZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI

Il settore edilizio è responsabile di considerevoli consumi energetici e impatti ambientali. Consumi e impatti si distribuiscono su due versanti: da un lato la produzione, la messa in opera e la dismissione dei componenti edilizi dall'altro la gestione in fase d'uso del sistema edificio.

L'incidenza della fase d'uso nella produzione di impatti ambientali è fondamentale. Negli attuali edifici realizzati con tecniche convenzionali l'energia utilizzata per la climatizzazione è di 150 kWh/m^{2}a, per cui nei 50 anni di vita utile l'energia consumata in fase d'uso è di dieci volte superiore a quella impiegata nella produzione di materiali e nella costruzione (Wienke, 2002).

Alcuni ricercatori hanno posto a paragone l'impronta ecologica dei consumi energetici di abitazioni convenzionali con quella di abitazioni costruite con tecniche volte al risparmio energetico e hanno dimostrato che l'impronta degli edifici convenzionali è doppia rispetto agli edifici a basso consumo energetico (Chambers, Simmons, Wackernagel, 2002).

La responsabilità di questo squilibrio è principalmente dei costruttori, i quali hanno interesse a tenere bassi i costi di costruzione e non hanno interesse a garantire bassi costi di gestione. E del resto non esiste neanche una domanda che incentivi la realizzazione di edifici a basso costo di gestione, se non qualche raro caso nel terziario.

Secondo il libro bianco Enea-Finco un appartamento in Italia consuma mediamente 1 tep/anno e nella sua vita utile (50 anni) circa 50 tep: un vero spreco energetico, un notevole inquinamento ambientale e un insensato dispendio economico.

Proprio **energia**, **ambiente** ed **economia** sono i tre aspetti fortemente in gioco nella fase di decisione progettuale: il processo di scelta delle soluzioni tecniche si basa sulla valutazione di questi tre fattori. Possedere dunque indicatori o elementi di conoscenza

che supportino la fase decisionale del progetto in base a questi tre ambiti diventa di fondamentale importanza.
La procedura che occorrerebbe adottare è quella di definire quali sono i requisiti ritenuti essenziali per una progettazione adeguata, definire quali sono gli indicatori di tali requisiti e i metodi di valutazione per determinarli e definire i limiti prestazionali (attraverso una valutazione energetico, ambientale ed economica) in base anche ai livelli prestazionali realizzabili (dunque tramite rilevamento delle prestazioni ottenute nelle 'buone pratiche').

3.1 PRESTAZIONI IN USO E CONSUMI ENERGETICI

Gli edifici convenzionali sono macchine energivore caratterizzate spesso da sprechi: non solo le soluzioni tecniche al momento della costruzione non erano caratterizzate da obiettivi di risparmio energetico, ma anche il degrado nel tempo degli edifici a causa dell'assenza di manutenzione ha incrementato la scarsa efficienza dei sistemi di involucro e degli impianti nel garantire una buona climatizzazione interna.

In inverno la temperatura interna agli edifici è superiore a quella esterna per cui si determina un **flusso di calore** che tende a migrare dall'interno verso l'esterno attraverso l'involucro dell'edificio, ossia attraverso le chiusure verticali (pareti perimetrali verticali), le chiusure orizzontali superiori (coperture) e le chiusure orizzontali inferiori (solai contro terra).
Questo flusso di calore determina delle **dispersioni** di calore per compensare le quali è necessario fornire calore attraverso impianti di riscaldamento, allo scopo di garantire il comfort e benessere termoigrometrico negli spazi abitati. La quantità di calore che deve essere fornito all'ambiente interno per mantenere la temperatura di progetto tale da garantire il benessere (in genere 20°C) è definita **fabbisogno di calore** o fabbisogno termico (UNI EN 832).
Per soddisfare il fabbisogno di calore occorre un sistema di riscaldamento che fornisca energia termica: il **fabbisogno energetico** è la quantità di energia che deve essere fornita dal sistema di riscaldamento per soddisfare il fabbisogno di calore e dipende dunque dal rendimento energetico degli impianti.
Il **rendimento energetico di un edificio** (Direttiva 2002/91/CE) è la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i bisogni di riscaldamento, riscaldamento dell'acqua, raffrescamento, ventilazione e illuminazione. Il rendimento energetico degli edifici deve

indicatori delle prestazioni energetiche di edifici

prestazione	indicatore	metodo di calcolo
isolamento termico chiusure opache e trasparenti	trasmittanza termica W/m^2K	UNI EN ISO 6946
consumi energetici termici invernali	kWh/m^2anno	UNI EN 832 o modellazione
protezione termica estiva	massa frontale sfalsamento termico	UNI 10375 o prEN ISO 13792

(fonte: ITC)

dunque essere calcolato tenendo conto della coibentazione, del tipo di riscaldamento e condizionamento, dell'impiego delle fonti rinnovabili di energia.
Per calcolare il flusso di calore si ipotizza una situazione costante, in corrispondenza del massimo fabbisogno prevedibile, ossia per il valore minimo di temperatura esterna, desunta dalla **temperatura esterna minima di progetto** definita dalla normativa in relazione alle diverse località. Le **temperature interne minime di progetto** da considerare dipendono dalla destinazione d'uso dell'edificio e sono definite dal DPR 412/93.
Le **dispersioni di calore** che devono essere considerate sono relative a:
- trasmissione attraverso l'involucro verso l'esterno
- trasmissione attraverso le chiusure verso ambienti non riscaldati
- ponti termici
- ventilazione dei locali.

La **procedura per il calcolo** del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici è riportata nella norma UNI 7357/74.
Nel calcolo vengono trascurati gli apporti di calore dovuti all'irraggiamento solare e ai carichi interni (illuminazione, presenza di persone, macchinari, ecc.). Questi contributi vengono invece presi in considerazione nel calcolo del FEN, per la valutazione del fabbisogno energetico annuo dell'edificio (norma UNI 10344), che è uno degli indicatori di prestazione energetica indicato dalla legge 10/91.
La legge 10/91 ha fissato tre criteri per determinare le prestazioni energetiche e i consumi di un edificio:
- il Cd (W/m^3K), ossia la potenza dispersa per trasmissione;
- il FEN (kJ/m^3Kg), ossia il fabbisogno di energia primaria consumata dall'edificio in una stagione di riscaldamento;

flusso di calore attraverso chiusura verticale opaca

flusso di calore (Q)
unità di misura: watt (W)

$Q = U \bullet A \bullet (Ti\text{-}Te)$

U è la trasmittanza dell'elemento di chiusura (W/m^2K)
A è l'area dell'elemento di chiusura (m^2)
Ti è la temperatura interna di progetto, normalmente 20°C
Te è la temperatura esterna minima di progetto, in relazione alla località

ESEMPIO

Calcolo della potenza termica unitaria dissipata da una chiusura verticale supponendo di considerare $A = 1\ m^2$

$Q = U\ (Ti\text{-}Te)$

U è la trasmittanza termica della chiusura verticale
(supponiamo di prendere una chiusura verticale di 0,45 W/m^2K)
Ti è la temperatura interna di progetto, che per edifici residenziali viene indicata di 20°C (stabilita dal DPR 412/93)
Te è la temperatura esterna di progetto, che dipende dalla località (supponiamo di essere a Milano: la temperatura esterna di progetto è -5°C)

$Q = U\ (Ti\text{-}Te) = 0{,}45 \bullet 25 = 11{,}27\ W/m^2$

Questo calcolo risulta interessante, poiché mette in relazione il valore della trasmittanza termica con la località climatica. Supponendo che un flusso termico di circa 10 W/m^2 sia un valore più che accettabile e che 0,45 W/m^2K sia un valore minimo adeguato di trasmittanza termica a Milano per garantire l'isolamento termico dell'edificio, tale valore si modifica in relazione alla localizzazione dell'edificio.

A **Roma** la temperatura esterna di progetto è 0°C, quindi la differenza di temperatura tra interno ed esterno (Ti-Te) è di 20°C.
Allora è sufficiente $U = 0{,}5\ W/m^2K$ per $Q = 10\ W/m^2K$
A **Palermo** la temperatura esterna di progetto è di 5°C, quindi la differenza di temperatura tra interno ed esterno (Ti-Te) è di 15°C.
Allora $U = 0{,}66\ W/m^2K$ per $Q = 10\ W/m^2K$
A **Belluno** la temperatura esterna di progetto è di -10°C, quindi la differenza di temperatura tra interno ed esterno (Ti-Te) è di 30°C.
Allora $U = 0{,}33\ W/m^2K$ per $Q = 10\ W/m^2K$

Questo evidenzia la necessità di definire valori diversi di trasmittanza termica in relazione alle differenti zone climatiche.

flusso di calore attraverso solaio contro terra

la procedura di calcolo dipende dallo scopo
- se l'obiettivo è il calcolo della potenza dispersa e quindi il calcolo di Cd, viene adottata la procedura della norma UNI 7357
- se l'obiettivo è il calcolo dell'energia dispersa su base stagionale e quindi il calcolo del FEN, viene adottata la procedura della norma UNI 10346

MODALITÀ CALCOLO Cd muro controterra

Calcolo delle dispersioni massime (Cd) di un muro controterra secondo la norma UNI 7357

flusso di calore (Q)
unità di misura: watt (W)

Q = Uf • A • (Ti-Te)

Uf è la trasmittanza fittizia che tiene in considerazione le dispersioni termiche che avvengono attraverso la parete contro terra e attraverso il terreno (W/m^2K)
A è l'area del solaio contro terra (m^2)
Ti è la temperatura interna di progetto, normalmente 20°C
Te è la temperatura esterna minima di progetto, in relazione alla località

la trasmittanza fittizia (Uf)
unità di misura: W/m^2K

Uf = 1/ (1/U + h/λ)

U è la trasmittanza unitaria del muro
h è la profondità in metri della parete interrata
λ è la conduttività termica del terreno umido pari a circa 2,5 kcal/hmK (2,90 W/mK)

MODALITÀ CALCOLO Cd solaio controterra

Calcolo delle dispersioni massime (Cd) di un solaio controterra secondo la norma UNI 7357

Q = Uf • A • (Ti-Te)

A è l'area del solaio
Ti è la temperatura interna di progetto
Ti è la temperatura dell'acqua delle falde superficiali (10-15°C)

Uf = 1/ (1/U + 1/C)

U è la trasmittanza unitaria del solaio
C è la conduttanza termica del terreno (1-2 $kcal/hm^2K$ = 2,90 W/mK)

- ηg, ossia il rendimento globale medio stagionale (efficienza complessiva del sistema edificio-impianto).

Prima della legge 10/91 l'involucro edilizio e l'impianto di riscaldamento venivano considerati come indipendenti e consequenziali nel processo progettuale: prima venivano definite le caratteristiche dell'involucro edilizio e poi si procedeva al dimensionamento dell'impianto di riscaldamento. La legge 10/91 integra invece il rapporto tra edificio e impianti, ponendo in relazione la potenza dell'impianto con le dispersioni termiche e gli apporti gratuiti.

La prima e più efficace strategia di risparmio energetico è la limitazione delle dispersioni attraverso un efficace isolamento termico delle chiusure. Questa è anche la prima misura indicata dalla legge 10/91 quando introduce il **coefficiente volumico di dispersione termica per trasmissione**, noto come **Cd** (W/m^{3}K), che indica la potenza massima dispersa per trasmissione attraverso le

	Rapporto S/V (Superficie disperdente/Volume)							
Gradi giorno	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
600	0.49	0.59	0.68	0.78	0.87	0.97	1.06	1.16
700	0.48	0.57	0.67	0.76	0.85	0.95	1.04	1.13
800	0.47	0.56	0.65	0.74	0.83	0.92	1.02	1.11
900	0.46	0.55	0.64	0.73	0.81	0.90	0.99	1.08
1000	0.45	0.54	0.62	0.71	0.80	0.88	0.97	1.05
1100	0.44	0.53	0.61	0.69	0.78	0.86	0.94	1.03
1200	0.44	0.52	0.60	0.68	0.76	0.84	0.92	1.00
1300	0.43	0.51	0.58	0.66	0.74	0.82	0.90	0.98
1400	0.42	0.50	0.57	0.65	0.72	0.80	0.87	0.95
1500	0.41	0.48	0.56	0.63	0.70	0.78	0.85	0.93
1600	0.40	0.47	0.54	0.61	0.69	0.76	0.83	0.90
1700	0.39	0.46	0.53	0.60	0.67	0.74	0.81	0.88
1800	0.37	0.44	0.51	0.58	0.65	0.72	0.78	0.85
1900	0.36	0.43	0.50	0.56	0.63	0.70	0.76	0.83
2000	0.35	0.42	0.48	0.55	0.61	0.67	0.74	0.80
2100	0.34	0.40	0.47	0.53	0.59	0.65	0.72	0.78
2200	0.34	0.40	0.46	0.52	0.59	0.65	0.71	0.77
2300	0.33	0.39	0.46	0.52	0.58	0.64	0.71	0.77
2400	0.33	0.39	0.45	0.51	0.58	0.64	0.70	0.76
2500	0.32	0.38	0.45	0.51	0.57	0.63	0.70	0.76
2600	0.32	0.38	0.44	0.50	0.57	0.63	0.69	0.75
2700	0.31	0.37	0.44	0.50	0.56	0.62	0.68	0.75
2800	0.31	0.37	0.43	0.49	0.56	0.62	0.68	0.74
2900	0.30	0.36	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.74
3000	0.30	0.36	0.42	0.48	0.55	0.61	0.67	0.73

fig. a. valori del Cd di legge (fonte: Chiesa, Dall'O', 1996)

chiusure opache e trasparenti dell'edificio, in condizioni stazionarie e in corrispondenza del maggiore salto termico di progetto (temperatura minima stagionale esterna). Il Cd di legge si determina in funzione dei gradi giorno della località e del rapporto S/V (superficie disperdente/volume lordo riscaldato). Nel caso di riscaldamento autonomo, il Cd deve essere riferito al singolo alloggio.
Il Cd di progetto, che deve essere inferiore al Cd di legge, si calcola come:

Cd prog = Qtot / V • (Ti-Te)

Qtot è la somma delle dipersioni termiche attraverso l'involucro
V volume lordo dell'edificio

Un altro indicatore utilizzato è il **FEN** (**fabbisogno energetico normalizzato**). Il FEN rappresenta l'energia primaria necessaria a garantire il benessere termico nell'edificio nell'arco dell'intera stagione di riscaldamento. Il FEN non rappresenta i consumi reali, in quanto si riferisce a condizioni convenzionali di clima, di comportamento degli utenti, di condizioni di esercizio, di prestazioni dei componenti. Si tratta dunque di un bilancio energetico semplificato dove gli apporti gratuiti vengono sottratti alle dispersioni termiche.
Per descrivere il consumo energetico di un edificio nel suo complesso è stato scelto come indicatore il kWh/m^{2}anno. Questo indicatore ha il vantaggio di descrivere in modo adeguato e semplice le prestazioni energetiche di un edificio e consente di rapportare in maniera diretta i consumi con i costi del consumo energetico. Inoltre è un indicatore che risulta comprensibile agli utenti che possono leggere in bolletta i propri consumi. Per **consumi termici** si intendono i consumi complessivi di combustibile (gas metano, gasolio, ecc.) necessari per il riscaldamento degli edifici.

il bilancio energetico

Il calcolo dell'energia primaria necessaria per mantenere le condizioni di comfort all'interno dell'edificio si basa sulla valutazione del bilancio energetico, che prende in considerazione:
- energia dispersa per trasmissione con l'ambiente esterno
- energia dispersa per trasmissione con il terreno
- energia dispersa per ventilazione
- energia immessa (apporti gratuiti) dovuta a sorgenti interne (luci, persone, apparecchiature)
- energia immessa (apporti gratuiti) per radiazione solare attraverso le superfici opache
- energia immessa (apporti gratuti) per radiazione solare attraverso le superfici vetrate

VALUTAZIONE ENERGETICA E AMBIENTALE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI UN EDIFICIO

3.2

Tutte le fonti energetiche sono produttrici di inquinamento (anche quelle apparentemente 'pulite' negli usi finali come l'energia elettrica), anche se ogni tipo di fonte energetica è diversamente inquinante. Questo giustifica gli interventi volti al risparmio energetico attribuendo un sicuro vantaggio in termini anche ambientali. Ma questo non è sempre vero: esiste un limite per ciascuna strategia di efficienza energetica oltre il quale risulta vantaggioso spostare l'attenzione verso altri fattori.

Dal momento che uno degli obiettivi fondamentali del risparmio energetico è la riduzione degli impatti ambientali (soprattutto in termini di produzione di CO_2), diventa di estremo interesse cercare di capire qual è il rapporto tra aumento di impatti ambientali in fase di produzione (per l'aumento del materiale impiegato per incrementare le prestazioni in fase d'uso, soprattutto nel caso dell'isolamento termico) e diminuzione degli impatti in fase d'uso (grazie al risparmio energetico garantito dall'iperisolamento). Occorre sottoporre a verifica gli interventi di risparmio energetico per constatarne il grado di efficacia (e dunque di necessità), ma anche i limiti.

Se appare quasi scontato dire che nel passaggio da edifici debolmente isolati a edifici isolati il risparmio energetico consente di sopperire ai maggiori impatti prodotti in fase di produzione dell'isolante, più complessa è la valutazione se si prende a riferimento l'incremento di risparmio energetico che passa da edifici ben isolati (*low energy building*) a edifici iperisolati (*passivhaus*).

Gli obiettivi di risparmio energetico stanno infatti introducendo in Italia modelli di costruzione e soluzioni tecniche appartenenti al nord Europa, dove la cultura del progetto già da diversi anni è orientata all'efficienza energetica e dove è diffusa una coscienza etica ambientale. Ma l'importazione acritica di modelli tecnico-costruttivi, come le passivhaus e gli edifici a doppio involucro tra-

sparente, nati in condizioni climatiche, produttive e culturali differenti, suscita alcune perplessità.
Nello stesso tempo l'attuale parco edilizio italiano dimostra tutta la sua carenza in termini di comportamento energetico proprio per i ridotti livelli di isolamento termico che caratterizzano le soluzioni tecniche di involucro correnti.
In particolare risulta importante, se l'obiettivo del risparmio energetico è in ultima istanza un obiettivo di sostenibilità ambientale, sottoporre la costruzione e l'uso dell'edificio a un'analisi del ciclo di vita, in modo da verificare gli impatti ambientali complessivi generati dall'intero processo edilizio. I due elementi a maggiore impatto sull'ambiente sono infatti da un lato l'energia impiegata per la climatizzazione degli edifici e dall'altro i materiali impiegati nella costruzione dell'edificio. Per questo viene condotta in questo paragrafo una valutazione ambientale LCA (*Life Cycle Assessment*) applicata alla scala del prodotto edilizio e alla scala dell'edificio nel suo complesso.
La valutazione alla scala del prodotto ha avuto come oggetto il materiale isolante (lana di roccia) e la valutazione alla scala dell'edificio ha avuto come oggetto il consumo energetico per il riscaldamento invernale (che per adesso è la fase di climatizzazione dell'edificio a maggiore impatto e rispetto alla quale l'isolamento termico può costituire la soluzione più semplice ed economica).
Assunte tre tipologie di edifici come riferimento, sono state messe a confronto diverse stratificazioni di involucro (da iperisolata a debolmente isolata) con la potenza dissipata e i relativi consumi energetici dovuti alla climatizzazione, evidenziando da un lato i vantaggi ambientali ottenuti grazie al risparmio energetico conseguito per le migliori prestazioni dell'involucro in termini di isolamento termico e dall'altro l'incremento degli impatti ambientali generati in fase di produzione dell'isolante dovuti alla maggior quantità di materiale utilizzata per aumentare le prestazioni dell'involucro.

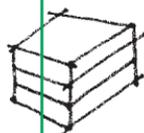
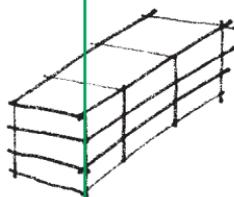
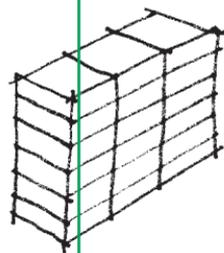
Nell'analisi sono state individuate tre tipologie di edificio, per evidenziare il ruolo del fattore di forma (superficie disperdente/volume) nei confronti della potenza termica dissipata dalle chiusure.
Lo studio si concentra sull'edilizia residenziale, sia per la sua maggiore diffusione e dunque rappresentatività nel diffuso, sia per la maggiore stabilità nelle condizioni d'uso rispetto a edifici terziari in cui diventa difficile stabilire le condizioni 'tipiche' (soprattutto di apporti interni e ore d'uso).

Le tre tipologie sono:
- edificio bifamiliare,
- edificio plurifamiliare in linea,
- edificio plurifamiliare alto.

È stato preso in considerazione anche l'edificio bifamiliare (nonostante la sua superficie utile interna sia inferiore ai 1.000 m^2 e dunque non sia interessato dalla entrata in vigore della Direttiva sull'efficienza energetica degli edifici) per dimostrare come si tratti della tipologia in realtà più disperdente dal punto di vista energetico e in considerazione del fatto che costituisce la tipologia più diffusa.

Per ciascuna tipologia edilizia sono stati ipotizzati sei pacchetti tecnici di chiusura verticale e sei pacchetti tecnici di chiusura orizzontale, prendendone in considera-

tipologie edilizie oggetto dello studio

tipologia 1 - edificio bifamiliare
superficie coperta: 144 m^2 (12x12 m)
altezza: 10 m (tre piani)
superficie utile: 432 m^2
volume complessivo: 1.440 m^3
area chiusure verticali: 480 m^2
area complessiva involucro: 768 m^2
superfici trasparenti (apribili): 54 m^2
rapporto S/V: 0,53

tipologia 2 - edificio plurifamiliare in linea
superficie coperta: 360 m^2 (12x30 m)
altezza: 10 m (tre piani)
superficie utile: 1.080 m^2
volume complessivo: 3.600 m^3
area chiusure verticali: 840 m^2
area complessiva involucro: 1.560 m^2
superfici trasparenti (apribili): 135 m^2
rapporto S/V: 0,43

tipologia 3 - edificio plurifamiliare alto
superficie coperta: 360 m^2 (12x30 m)
altezza: 20 m (sei piani)
superficie utile: 2.160 m^2
volume complessivo: 7.200 m^3
area chiusure verticali: 1.680 m^2
area complessiva involucro: 2.400 m^2
superfici trasparenti (apribili): 270 m^2
rapporto S/V: 0,33

tipologie e trasmittanze termiche

tipologia 1
12 x 12 x 10 M2 = 432 superfici trasparenti = 1/8 * 432 = 54 m2
480-54

	W/m2K	m2	
	U ch vert	A ch vert	A U
non isolato	1,00	426	426,0
tradizionale	0,60	426	255,6
energ effic	0,50	426	213,0
energ effic	0,40	426	170,4
low energy	0,30	426	127,8
iperisolato	0,20	426	85,2
passivhaus	0,15	426	63,9

	W/m2K	m2	
	U ch oriz sup	A ch oriz sup	A U
non isolato	1,20	144	172,8
tradizionale	0,80	144	115,2
energ effic	0,45	144	64,8
energ effic	0,35	144	50,4
low energy	0,25	144	36,0
iperisolato	0,15	144	21,6
passivhaus	0,10	144	14,4

	W/m2K	m2		
	U ch oriz inf	A ch oriz inf	A U	somma A U
non isolato	1,40	144	201,6	800,4
tradizionale	1,00	144	144,0	514,8
energ effic	0,55	144	79,2	357,0
energ effic	0,45	144	64,8	285,6
low energy	0,35	144	50,4	214,2
iperisolato	0,25	144	36,0	142,8
passivhaus	0,20	144	28,8	107,1

tipologia 2
12 x 30 x 10 M2 = 1080 superfici trasparenti = 1/8 * 1080 = 135 m2
840-135

	W/m2K	m2	
	U ch vert	A ch vert	A U
non isolato	1,00	705	705,0
tradizionale	0,60	705	423,0
energ effic	0,50	705	352,5
energ effic	0,40	705	282,0
low energy	0,30	705	211,5
iperisolato	0,20	705	141,0
passivhaus	0,15	705	105,8

	W/m2K	m2	
	U ch oriz sup	A ch oriz sup	A U
non isolato	1,20	360	432,0
tradizionale	0,80	360	288,0
energ effic	0,45	360	162,0
energ effic	0,35	360	126,0
low energy	0,25	360	90,0
iperisolato	0,15	360	54,0
passivhaus	0,10	360	36,0

	W/m2K	m2		
	U ch oriz inf	A ch oriz inf	A U	somma A U
non isolato	1,40	360	504,0	1641,0
tradizionale	1,00	360	360,0	1071,0
energ effic	0,55	360	198,0	712,5
energ effic	0,45	360	162,0	570,0
low energy	0,35	360	126,0	427,5
iperisolato	0,25	360	90,0	285,0
passivhaus	0,20	360	72,0	213,8

tipologia 3
12 x 30 x 20 M2 = 2160 superfici trasparenti = 1/8 * 2160 = 270 m2
1680-270

	W/m2K	m2	
	U ch vert	A ch vert	A U
non isolato	1,00	1410	1410,0
tradizionale	0,60	1410	846,0
energ effic	0,50	1410	705,0
energ effic	0,40	1410	564,0
low energy	0,30	1410	423,0
iperisolato	0,20	1410	282,0
passivhaus	0,15	1410	211,5

	W/m2K	m2	
	U ch oriz sup	A ch oriz sup	A U
non isolato	1,20	360	432,0
tradizionale	0,80	360	288,0
energ effic	0,45	360	162,0
energ effic	0,35	360	126,0
low energy	0,25	360	90,0
iperisolato	0,15	360	54,0
passivhaus	0,10	360	36,0

	W/m2K	m2		
	U ch oriz inf	A ch oriz inf	A U	somma A U
non isolato	1,40	360	504,0	2346,0
tradizionale	1,00	360	360,0	1494,0
energ effic	0,55	360	198,0	1065,0
energ effic	0,45	360	162,0	852,0
low energy	0,35	360	126,0	639,0
iperisolato	0,25	360	90,0	426,0
passivhaus	0,20	360	72,0	319,5

zione le trasmittanze termiche:

- edificio non isolato: Uch vert = 1,00 W/m²K Uch oriz= 1,2 0W/m²K
- edificio tradizionale: Uch vert = 0,60 W/m²K Uch oriz= 0,80W/m²K
- edificio energ. efficiente: Uch vert = 0,50 W/m²K Uch oriz= 0,45 W/m²K
- edificio energ. efficiente: Uch vert = 0,40 W/m²K Uch oriz= 0,35 W/m²K
- edificio low energy: Uch vert = 0,30 W/m²K Uch oriz= 0,25 W/m²K
- edificio iperisolato: Uch vert = 0,20 W/m²K Uch oriz= 0,15 W/m²K
- passivhaus: Uch vert = 0,15 W/m²K Uch oriz= 0,10 W/m²K

È stata ipotizzata una soluzione tecnica "base" non isolata che potrebbe corrispondere a un blocco in laterizio da 25 cm intonacato con trasmittanza termica 1,0 W/m²K per le chiusure verticali e un solaio in laterocemento di 25 cm con massetto di 10 cm con trasmittanza termica 1,20 W/m²K per le chiusure orizzontali. Le altre soluzioni tecniche sono state ipotizzate come incrementi prestazionali di questa soluzione base tramite l'integrazione con strato isolante in lana di roccia.
Sono stati confrontati gli impatti ambientali dovuti all'isolamento (e dunque alla produzione, trasporto e dismissione del materiale isolante) e gli impatti ambientali dovuti ai consumi energetici per il riscaldamento.
Gli oggetti analizzati nella valutazione ambientale sono stati l'involucro (chiusure verticali e orizzontali) e l'energia necessaria per riscaldare il volume. Sono stati dunque trascurati nell'inventario degli impatti ambientali tutti gli altri componenti dell'edificio, che rimangono uguali nelle due ipotesi.
Per quanto riguarda la valutazione dell'energia necessaria per riscaldare, non sono stati calcolati i consumi energetici complessivi dell'edificio (che avrebbero dovuto

calcolo spessore isolante

calcolo spessore isolante λ=0,039

chiusure verticali

	U	ΛR=Rini-Rfin	s = Λ r* λ		spessore	
non isolato	1,00	Rini = 1		m	0	m
tradizionale	0,60	0,667	0,026	m	0,03	m
energ effic	0,50	1,000	0,039	m	0,04	m
energ effic	0,40	1,500	0,059	m	0,06	m
low energy	0,30	2,333	0,091	m	0,09	m
iperisolato	0,20	4,000	0,156	m	0,16	m
passivhaus	0,15	5,667	0,221	m	0,22	m

chiusure orizzontali superiori (copertura)

	U	ΛR=Rini-Rfin	s = Λ r* λ		spessore	
non isolato	1,20	Rini = 0,83		m	0	m
tradizionale	0,80	0,420	0,016	m	0,02	m
energ effic	0,45	1,392	0,054	m	0,06	m
energ effic	0,35	2,027	0,079	m	0,08	m
low energy	0,25	3,170	0,124	m	0,12	m
iperisolato	0,15	5,837	0,228	m	0,22	m
passivhaus	0,10	9,170	0,358	m	0,36	m

chiusure orizzontali inferiori (solaio contro terra)

	U	ΛR=Rini-Rfin	s = Λ r* λ		spessore	
non isolato	1,40	Rini = 0,83		m	0	m
tradizionale	1,00	0,170	0,007	m	0,01	m
energ effic	0,55	0,988	0,039	m	0,04	m
energ effic	0,45	1,392	0,054	m	0,06	m
low energy	0,35	2,027	0,079	m	0,08	m
iperisolato	0,25	3,170	0,124	m	0,12	m
passivhaus	0,20	4,170	0,163	m	0,16	m

energia termica annuale dissipata per trasmissione

Per calcolare la potenza termica mensile dissipata per dispersioni termiche attraverso le chiusure opache è stata applicata la formula

$Q = 86400 \cdot gg \cdot \Delta t \cdot \Sigma A U$ [J]

86400 sono i secondi del giorno
gg sono il numero di giorni del mese di riscaldamento
Δt è la differenza tra temperatura interna di progetto (20°C) e la temperatura esterna media del mese di riferimento (tm)
$\Sigma A U$ è la sommatoria tra tutte le trasmittanze termiche per le relative superfici di involucro

tenendo conto che **$gg \cdot \Delta t = GG$** (gradi-giorno), è possibile determinare la potenza termica annuale dissipata per dispersioni termiche attraverso le chiusure opache applicando la formula

$Q = 24 \cdot GG \cdot \Sigma A U$ [Wh/a]

24 sono le ore del giorno
GG sono i gradi giorno
$\Sigma A U$ è la sommatoria tra tutte le trasmittanze termiche per le relative superfici di involucro

Per semplificare il calcolo per le chiusure orizzontali contro terra è stato utilizzato un fattore 0,5 ipotizzando che la differenza di temperatura tra interno e terreno sia la metà della differenza di temperatura tra interno ed esterno.

I parametri di confronto in questa valutazione sono:
- le diverse tipologie edilizie, per valutare l'incidenza del fattore di forma (edificio bifamiliare, edificio plurifamiliare in linea, edificio plurifamiliare alto)
- le diverse trasmittanze termiche dell'involucro (non isolato, tradizionale, energicamente efficiente, low energy, iperisolato)
- le diverse collocazioni geografiche, con scelte appartenenti alle diverse zone climatiche (Milano, Roma, Napoli, Palermo).

tenere conto delle dispersioni dovute alla ventilazione e degli apporti gratuiti dovuti alle finestre e ai carichi interni), ma sono state calcolate solo le potenze termiche disperse tramite le superfici di involucro opaco: è stato infatti ipotizzato di 'tenere ferma' una soluzione base e di variare solo la trasmittanza delle chiusure opache. Di conseguenza il valore considerato significativo è la variazione della potenza ter-

mica dissipata dalla chiusure opache, che determina un incremento o una riduzione dei consumi energetici degli edifici relazionata allo spessore del materiale isolante. La potenza termica non indica i consumi energetici, ma i carichi termici; per trasformarla in consumi energetici occorre definire un impianto e dunque calcolarne il rendimento: il rendimento di un impianto è comunque inferiore a 1 e quindi i consumi energetici sono sempre superiori ai carichi termici (per produrre 1 MJ di energia termica dissipata occorre un consumo energetico superiore a 1 MJ, poiché occorre tenere conto del rendimento dell'impianto). Nelle valutazioni è stato ipotizzato un rendimento degli impianti di 0,75 in modo da trasformare i carichi termici (potenza termica dissipata) in consumi energetici e in modo da stimare gli impatti ambientali del consumo di combustibile (gasolio o metano) per garantire il fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale degli edifici studiati. L'ecoefficienza dell'impianto o l'uso di impianti che producano energia da fonti rinnovabili esula da questo studio, che si pone l'obiettivo di determinare semplicemente il ruolo dell'iperisolamento. Nella valutazione degli impatti ambientali sono stati ipotizzati due scenari: il consumo di gasolio e il consumo di gas metano per il riscaldamento invernale. Non sono stati considerati i consumi relativi all'illuminazione e alla produzione di acqua calda sanitaria.
È stata ipotizzata una geometria delle diverse tipologie di edificio, con superfici trasparenti apribili dell'edificio pari a 1/8 della superficie utile (ossia strettamente legate al rispetto del rapporto di aeroilluminazione previsto per legge). Le prestazioni e le dimensioni delle superficie trasparenti sono state considerate costanti in tutte le valutazioni fatte e dunque trascurate nel calcolo dei carichi termici.

La valutazione della potenza termica dissipata attraverso gli involucri è stata determinata indicando come temperatura interna di riferimento 20°C d'inverno. Sono stati definiti i carichi termici invernali in MJ/a e in KWh/m^{2}a.
Per quanto riguarda la valutazione degli impatti ambientali del materiale isolante in lana di roccia si è fatto ricorso a dati primari, ma relativi a uno studio svolto in Danimarca sullo stabilimento della Rockwool danese. La contestualizzazione degli impatti, e dunque l'identificazione degli effettivi impatti dello stabilimento italiano di Iglesias, permetterebbero di raffinare i dati e dunque i risultati della valutazione. In mancanza di dati specifici nazionali appare comunque opportuno avvalersi di dati primari che fanno riferimento a uno stesso procedimento produttivo anche se relativi a una localizzazione produttiva differente. Va tenuto in considerazione che la finalità dello studio non è il confronto con altri prodotti, ma il confronto tra fase di produzione e fase d'uso: i risultati esprimono ordini di grandezza talmente macrospici che non incide la differenza che si potrebbe ottenere con la contestua-

lizzazione degli impatti sul territorio italiano.

Per poter rendere confrontabili i risultati delle valutazioni tra tipologie edilizie differenti, i dati relativi agli impatti ambientali sono stati ricondotti a una unità funzionale a livello di edificio, ossia al metro quadrato di superficie utile interna. Infatti i valori degli impatti ambientali relativi alla tipologia 3 (edificio plurifamiliare alto) in termini assoluti sono ovviamente maggiori rispetto alla tipologia 1 (edificio bifamiliare) perchè si tratta di un edificio più grande e quindi richiede maggiori consumi per il riscaldamento e maggiore materiale isolante impiegato per l'estensione dell'involucro. Per poter porre a paragone il comportamento delle diverse tipologie occorre ricondursi al metro quadrato di superficie utile: emerge a questo punto il vantaggio del fattore di forma, per cui la tipologia 3 risulta in realtà la meno impattante.

Complessivamente questa valutazione ha messo in evidenza che l'incidenza della produzione dell'isolante è veramente trascurabile rispetto agli impatti ambientali generati dal consumo di riscaldamento.

Dunque isolare consente di ridurre gli impatti ambientali complessivi e costituisce una strategia di contenimento dei consumi energetici e degli impatti ambientali tra le più efficaci.

bilancio energetico

Per introdurre la valutazione occorre fare una precisazione: i valori ottenuti non sono i consumi energetici complessivi, ma solo l'incidenza della potenza termica dissipata per dispersione tramite le chiusure opache (preso in considerazione come valore isolato). Dal calcolo si ottiene un valore espresso in MJ all'anno, che è stato convertito in kWh/m^2a per rendere confrontabili le tipologie edilizie tra di loro.

Questa semplificazione e valutazione parziale del comportamento energetico che tiene conto solo delle dispersioni termiche dell'involucro opaco e trascura gli altri fattori non si discosta comunque molto dal bilancio termico complessivo, quindi, con una certa approssimazione, si può quasi paragonare al bilancio termico e dunque tradurre in consumo energetico (tenendo conto del rendimento degli impianti, ipotizzato di 0,75).

Infatti analizzando per esempio il bilancio energetico complessivo della tipologia 1, si può notare innanzitutto che le dispersioni termiche per trasmissione (sia tramite le superfici opache che tramite le superfici trasparenti) sono le più significative nella determinazione della potenza termica dissipata e quindi dei consumi energetici complessivi. Si può inoltre approssimare che apporti solari, apporti interni, dispersioni per trasmissione tramite le superfici vetrate e dispersioni per ventilazione quasi si compensano (nell'ipotesi considerata, quindi con le scelte progettuali operate in questo specifico caso). L'incidenza maggiore sui carichi termici invernali per riscaldamento è dovuta alle dispersioni attraverso l'involucro opaco (soprattutto in questa ipotesi che prevede che le superfici vetrate rispettino solamente il rapporto minimo di aeroilluminazione, quindi siano solo 1/8 della superficie interna calpestabile).

tipologia 1 432 m2 — Milano

perdite per trasmissione
24 * GG * Σ A U / 1000= kWh/a

	A m2	Uvalue W/m2K	fattore	GG	24/1000	perdite kWh/a	kWh/m2a
chiusure verticali	480	0,2	1	2404	0,024	5538,82	
copertura	144	0,15	1	2404	0,024	1246,23	
solaio contro terra	144	0,15	0,5	2404	0,024	623,12	
					totale	7408,17	17,15
chiusure trasparenti	54	1,7	1	2404	0,024	5296,49	12,26

	lunghezza	W/mK					kWh/m2a
ponti termici	136	0,024	1	2404	0,024	188,32	0,44
		0,6 * U * s angolo pareti					

perdite per ventilazione
n * V * c * GG * 24/ 1000 = kWh/a

n 1/h	V m3	c Wh/m3K	GG	24/1000	perdite kWh/a	kWh/m2a
0,1	1440	0,35	2404	0,024	2907,878	6,73

residenziale
0,5 * 20%
80% recupero calore

apporti gratuiti tramite superfici trasparenti
f * g * A *R

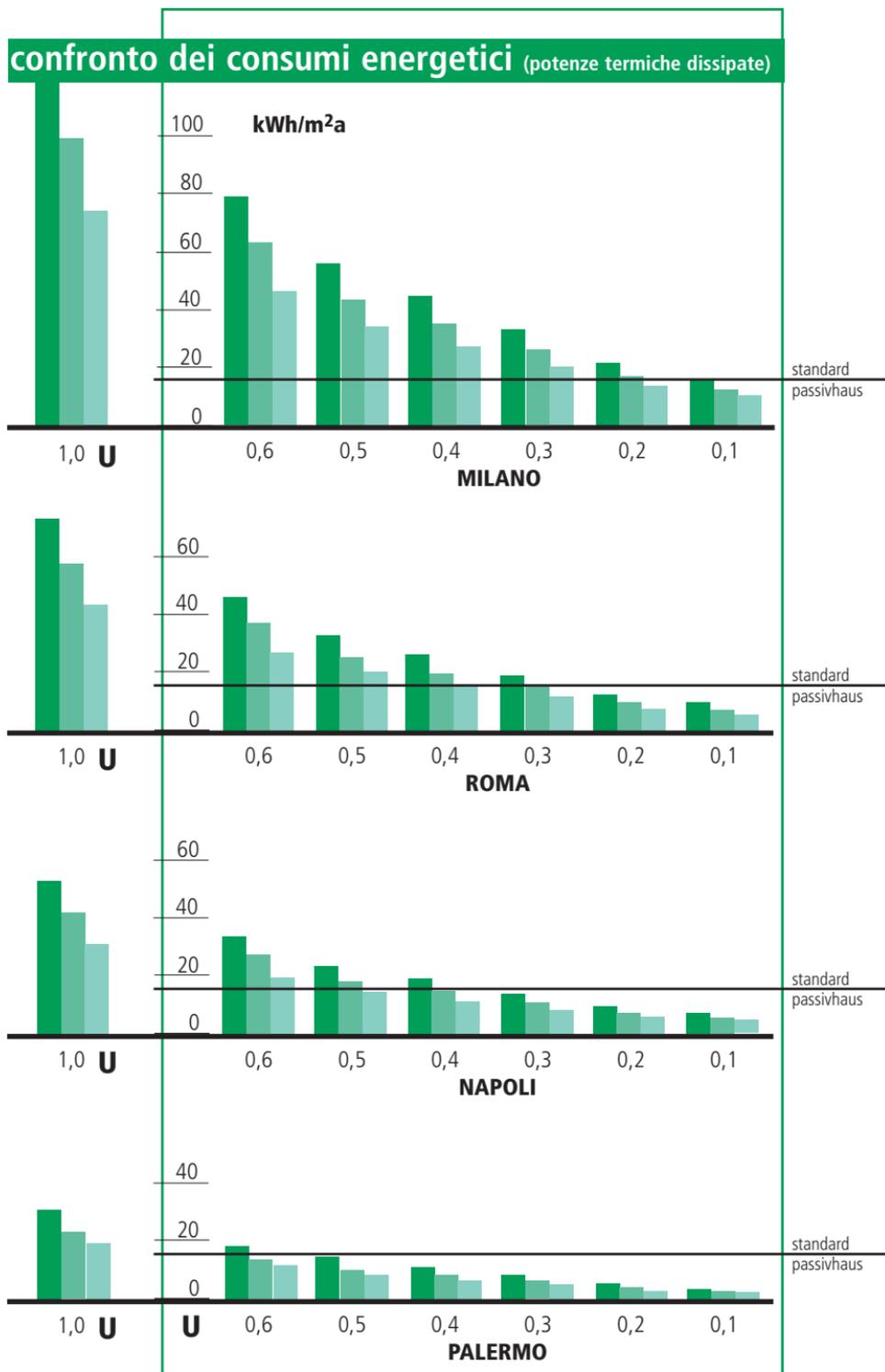
	fatt riduz	g	A m2	rad glob kWh/m2a	guadagni kWh/a	kWh/m2a
est	0,45	0,7	13,5	268	1139,67	
sud	0,45	0,7	13,5	413	1756,28	
ovest	0,45	0,7	13,5	268	1139,67	
nord	0,45	0,7	13,5	125	531,56	
				totale	4567,19	10,57

apporti gratuiti interni

kh/d	giorni	apporti W/m2	A m2	guadagni kWh/a	kWh/m2a
0,024	180	2	432	3732,48	8,64

bilancio termico

perdite trasmis	perdite trasmis	perdite ponti	perdite ventilaz	guadagni vetrate	guadagni interni
7408,17	5296,49	188,32	2907,88	4567,19	3732,48
7408,17		8392,69		8299,67	

confronto dei consumi energetici (potenze termiche dissipate)
100
kWh/m²a
80
60
40
20
0
standard
passivhaus
1,0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
MILANO
60
40
20
0
standard
passivhaus
1,0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
ROMA
60
40
20
0
standard
passivhaus
1,0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NAPOLI
40
20
0
standard
passivhaus
1,0
U
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
PALERMO

calcolo quantità materiale isolante impiegato

chiusure verticali

	426	705	1410	
	tipologia 1	tipologia 2	tipologia 3	
non isolato	0	0	0	m3
tradizionale	12,8	21,2	42,3	m3
energ effic	17,0	28,2	56,4	m3
energ effic	25,6	42,3	84,6	m3
low energy	38,3	63,5	126,9	m3
iperisolato	68,2	112,8	225,6	m3
passivhaus	93,7	155,1	310,2	m3

chiusure orizzontali superiori (copertura)

	144	360	360	
	tipologia 1	tipologia 2	tipologia 3	
non isolato	0	0	0	m3
tradizionale	2,88	7,20	7,20	m3
energ effic	8,64	21,60	21,60	m3
energ effic	11,52	28,80	28,80	m3
low energy	17,28	43,20	43,20	m3
iperisolato	31,68	79,20	79,20	m3
passivhaus	51,84	129,60	129,60	m3

chiusure orizzontali inferiori (solaio contro terra)

	144	360	360	
	tipologia 1	tipologia 2	tipologia 3	
non isolato	0	0	0	m3
tradizionale	1,44	3,60	3,60	m3
energ effic	5,76	14,40	14,40	m3
energ effic	8,64	21,60	21,60	m3
low energy	11,52	28,80	28,80	m3
iperisolato	17,28	43,20	43,20	m3
passivhaus	23,04	57,60	57,60	m3

calcolo kg di isolante per l'intero involucro

	tipologia 1			
	chius vert	chius oriz sup	chius oriz inf	
	ρ=70 kg/m3	ρ=100 kg/m3	ρ=100 kg/m3	
non isolato	0	0	0	kg
tradizionale	895	288	144	kg
energ effic	1.193	864	576	kg
energ effic	1.789	1.152	864	kg
low energy	2.684	1.728	1.152	kg
iperisolato	4.771	3.168	1.728	kg
passivhaus	6.560	5.184	2.304	kg

	tipologia 2			
	chius vert	chius oriz sup	chius oriz inf	
	ρ=70 kg/m3	ρ=100 kg/m3	ρ=100 kg/m3	
non isolato	0	0	0	kg
tradizionale	1.481	720	360	kg
energ effic	1.974	2.160	1.440	kg
energ effic	2.961	2.880	2.160	kg
low energy	4.442	4.320	2.880	kg
iperisolato	7.896	7.920	4.320	kg
passivhaus	10.857	12.960	5.760	kg

	tipologia 3			
	chius vert	chius oriz sup	chius oriz inf	
	ρ=70 kg/m3	ρ=100 kg/m3	ρ=100 kg/m3	
non isolato	0	0	0	kg
tradizionale	2.961	720	360	kg
energ effic	3.948	2.160	1.440	kg
energ effic	5.922	2.880	2.160	kg
low energy	8.883	4.320	2.880	kg
iperisolato	15.792	7.920	4.320	kg
passivhaus	21.714	12.960	5.760	kg

In particolare il passaggio da casa tradizionale, con trasmittanza termica pari a 0,6 W/m^{2}K (3 cm di isolante) nelle chiusure verticali e 0,8 W/m^{2}K (2 cm di isolante) in copertura, a casa isolata (low energy building) con 0,3 W/m^{2}K (10 cm di isolante) nelle chiusure verticali e 0,25 W/m^{2}K (12 cm di isolante) in copertura permette di dimezzare i consumi energetici annuali. Gli impatti generati sull'ambiente dalla produzione del materiale isolante nel caso del low energy building vengono recuperati nell'arco di soli tre anni.

Più problematico è però il passaggio da casa isolata (low energy building), con trasmittanza termica pari a 0,3 W/m^{2}K (10 cm di isolante) nelle chiusure verticali e 0,25 W/m^{2}K (12 cm di isolante) in copertura, a casa iperisolata con 0,2 W/m^{2}K (16

LCA pannello in lana di roccia - analisi d'inventario

INVENTARIO DEI DATI						
relativi alla produzione della lana di roccia						
CATEGORIE DI DATI	TIPOLOGIA DI DATI	ANNO	ZONA	DATI	PER KG	UNITÀ DI MISURA
energia	primari	2003	DNMK	PRIMARIA NON RINNOVABILE (TOTALE)	14,000	MJ
	primari	2003	DNMK	feedstock non rinnovabile	2,100	MJ
	primari	2003	DNMK	PRIMARIA RINNOVABILE (TOTALE)	0,900	MJ
	primari	2003	DNMK	feedstock rinnovabile	0,800	MJ
	primari	2003	DNMK	ENERGIA ELETTRICA	2,600	MJ
	primari	2003	DNMK	ENERGIA PRIMARIA TOTALE	17,500	MJ
consumo materie prime	primari	2003	DNMK	RISORSE NON RINNOVABILI (COMBUSTIBILI TOT)	652,000	g
	primari	2003	DNMK	carbone	476,000	g
	primari	2003	DNMK	gas naturale	111,000	g
	primari	2003	DNMK	olio combustibile	65,000	g
	primar	2003	DNMK	RISORSE NON RINNOVABILI (MINERALI)	780,00	g
	primar	2003	DNMK	dolomia	230,00	g
	primar	2003	DNMK	basalto	550,00	g
	primar	2003	DNMK	RISORSE RICICLATE	220,00	g
	primar	2003	DNMK	bauxite	99,00	g
	primar	2003	DNMK	basalto	57,20	g
	primar	2003	DNMK	dolomia	33,00	g
	primar	2003	DNMK	cemento	30,80	g
	primari	2003	DNMK	resina fenolica	40,00	g
	primar	2003	DNMK	ammoniaca	4,00	g
	primar	2003	DNMK	RISORSE RINNOVABILI (TOTALE)	35,00	g
	primar	2003	DNMK	biomassa (legno)	35,00	g
	primar	2003	DNMK	CONSUMO DI ACQUA	3.300,00	g
	-	-	-	CONSUMO DI SUOLO	-	m^2
emissioni in aria	primar	2003	DNMK	CO_2 anidride carbonica	1.200,00	g
	primar	2003	DNMK	CO monossido di carbonio	88,98	g
	primar	2003	DNMK	CH_4 metano	0,88	g
	primar	2003	DNMK	SO_x ossidi di zolfo	5,13	g
	primar	2003	DNMK	NO_x ossidi di azoto	2,09	g
	primar	2003	DNMK	HCl acido cloridrico	0,05	g
	primar	2003	DNMK	HF acido fluoridrico	0,01	g
	primar	2003	DNMK	NH_3 ammoniaca	2,00	g
	-	-	-	HCFC idrofluoroclorocarburi	-	g
	-	-	-	idrocarburi alogenati	-	g
	-	-	-	PAH idrocarburi policiclici aromatici	-	g
	-	-	-	BOD (biological oxygen demand)	-	g
	primar	2003	DNMK	VOC composti organici volatili	0,59	g
	second	1990	SWITZ	NMVOC (COV non metanogeni)	1,10	g
	primar	2003	DNMK	particolato (PM10)	1,01	g
	-	-	-	Hg mercurio	-	g
	second	1990	SWITZ	C_6H_5OH fenolo	0,12	g
	second	1990	SWITZ	CH_2O formaldeide	0,029	g
	-	-	-	As arsenico	-	g
	-	-	-	Pb piombo	-	g
	primar	2003	DNMK	N_2O ossido d'azoto	0,02	g
	primar	2003	DNMK	H_2S acido solfidrico	0,02	g
	primar	2003	DNMK	idrocarboni	0,18	g
	-	-	-	O_2	-	g
emissioni in acqua	primar	2003	DNMK	elementi solidi sospesi	0,02	g
	primar	2003	DNMK	BOD	0	g
	primar	2003	DNMK	COD	0,04	g
	primar	2003	DNMK	azoto (N)	0,01	g
rifiuti solidi	primar	2003	DNMK	pericolosi	0,4	g
	primar	2003	DNMK	non pericolosi	45	g
	primar	2003	DNMK	RIFIUTI SOLIDI TOTALI	45,4	g

fonte: primari 2003 DNMK (Schmidt, 2003)
second 1990 SWITZ banca dati I-LCA; banca dati ETH-ESU, 1990

LCA pannello in lana di roccia - impatti ambientali

IMPATTI AMBIENTALI		
relativi alla produzione della lana di roccia		
CATEGORIE DI IMPATTO	PER KG	UNITÀ DI MISURA
surriscaldamento del globo (effetto serra) GWP Global Warming Potential	1.402,64	g di CO_2 eq
acidificazione AP Acidification Potential	11,21	g di SO_2 eq
formazione di ossidanti fotochimici POCP Photochemical Ozone Creation Potential	2,97	g di C_2H_4 eq
eutrofizzazione Eutrophication	44,54 0,97	g di O_2 g di PO_4 eq
assottigliamento strato ozono ODP Ozone Depletion Potential	-	g di CFC-11 eq
smog	1,10	g
sostanze pericolose	- -	g di Hg g di PAH
tossicità permante TP Permanent Toxicity	- - -	m^3 di aria m^3 di acqua m^3 di suolo
tossicità per l'uomo	1,02	g di 1,4-DBC eq
salute umana	0,59 1,01	g di VOC g di PM_{10}

CONSUMO DI RISORSE			
TIPOLOGIA DI CONSUMO	TIPOLOGIA	PER KG	UNITÀ DI MISURA
consumo di energia	rinnovabili non rinnovabili elettricità	0,900 14,000 2,600	MJ MJ MJ
consumo di materie prime	riciclate rinnovabili non rinnovabili	220,00 35,00 1.436,00	g g g
consumo di acqua		3.300,00	g

PRODUZIONE DI RIFIUTI			
	TIPOLOGIA	PER KG	UNITÀ DI MISURA
rifiuti solidi	pericolosi non pericolosi	0,40 45,00	g g

caratterizzazione degli impatti secondo la procedura (MSR:1999) stabilita dal Swedish Environmental Management Council per la realizzazione delle EPD (Environmental Product Declaration).

cm di isolante) nelle chiusure verticali e 0,15 W/m^{2}K (23 cm di isolante) in copertura: in questo caso l'incremento di risparmio energetico è ridotto mentre la quantità di materiale isolante impiegata è quasi il doppio. Gli impatti ambientali generati dalla produzione di materiale isolante nel caso dell'edificio iperisolato vengono recuperati in 8 anni.
Esiste cioè una soglia oltre alla quale la strategia dell'incremento di isolamento termico perde la sua efficacia e occorre dunque attivare altre strategie di risparmio energetico. Il rischio è addirittura quello di determinare un incremento degli impatti ambientali complessivi, poichè l'incremento di risparmio si ottiene con un incremento notevole di materiale isolante impiegato.
Lo studio dimostra che in Italia, a Milano sarebbe opportuno isolare con standard attorno ai 0,2-0,1 W/m^{2}K di trasmittanza termica (a seconda della tipologia edilizia), a Roma con standard attorno ai 0,3-0,2 W/m^{2}K, a Napoli con standard attorno ai 0,3 W/m^{2}K, a Palermo con standard attorno ai 0,4 W/m^{2}K.
Gli incrementi di isolamento oltre queste soglie diventano complessivamente impattanti per l'ambiente poichè si determina un incremento degli impatti in fase di produzione per il maggiore consumo di materiale isolante per diminuire la trasmittanza termica senza un significativo incremento del risparmio energetico.
Per contro spessori di isolamento insufficienti a garantire i livelli di tramittanza termica indicati determinano edifici disperdenti: l'incremento dei consumi energetici determina un incremento significativo degli impatti ambientali.
Va messo in evidenza inoltre che un incremento di spessore isolante nella fascia 10-20 cm porta a un recupero degli impatti ambientali, dovuti alla produzione di materiale isolante, in un periodo di circa 10 anni, un incremento dello spessore isolante nella fascia 5-10 cm porta a un recupero degli impatti ambientali dovuti alla produzione di materiale isolante nell'arco di 4-5 anni, mentre un incremento dello spessore isolante nella fascia 0-5 cm porta a un recupero degli impatti ambientali dovuti alla produzione di materiale isolante nell'arco dell'anno.
Dunque garantire 6-8 cm di materiale isolante in un edificio appare opera minima e doverosa; spostarsi a un range tra 10-15 cm consente di andare verso standard di risparmio energetico molto alti, salvaguardando gli impatti complessivi, ma iperisolare (20-30 cm), almeno alle nostre latitudini, rischia di generare un incremento degli impatti ambientali (dovuti alla produzione di materiale isolante) senza un significativo beneficio in termini di risparmio energetico.
Del resto il decremento della trasmittanza termica in relazione all'aumento dello spessore isolante dimostra come occorra aumentare notevolmente (raddoppiare) lo spessore isolante per ottenere un miglioramento di 0,10 W/m^{2}K (per passare da un low energy building a una passivhaus).

gasolio e metano - impatti ambientali

impatti di produzione e uso gasolio

	1 kWh	1 MJ	
GWP	23,281	83,812	g di CO2 eq
AP	0,354	1,277	g di SO2 eq
POPC	0,1	0,362	g di C2H4 eq
NP	1,486	5,352	g di O2

impatti di produzione e uso metano

	1 kWh	1 MJ	
GWP	18,972	68,302	g di CO2 eq
AP	0,238	0,858	g di SO2 eq
POPC	0,006	0,024	g di C2H4 eq
NP	1,29	4,644	g di O2

legenda:
GWP Global Warming Potenzial
effetto serra
AP Acidification Potential
acidificazione
POPC Photochemical Ozone Creation Potential
formazione di ossidanti fotochimici
NP Eutrophication
eutrofizzazione
fonte dati d'inventario: banca dati Boustead (2002)

Si è dimostrato che il vantaggio conseguibile con una soluzione tecnica (in questo caso l'isolamento termico) appare progredire all'infinito se si prende a riferimento il solo parametro del risparmio energetico (più isolo, più risparmio, teoricamente all'infinito). Ma se si estende lo sguardo alla valutazione ambientale si individua il limite del vantaggio ottenibile con tale soluzione (oltre 0,2 W/m^2K) e soprattutto i confini di una effettiva efficacia (notevole nel passaggio da 1,00 a 0,4 W/m^2K e man mano in decremento), in modo da ricercare un incremento di risparmio energetico grazie alla sinergia con altre soluzioni tecniche (per esempio un maggiore potere isolante delle superfici vetrate).
Nello stesso tempo la valutazione ambientale dimostra il notevole disequilibrio tra impatti ambientali in fase di produzione e impatti ambientali in fase d'uso: la fase d'uso risulta essere attualmente la più problematica, soprattutto dal momento che gli edifici convenzionali hanno trasmittanze termiche raramente attorno ai 0,6 W/m^2K e spesso superiori. L'incremento dell'uso del materiale isolante appare dunque più che opportuno. Zona limite è però la soglia che passa da 0,2 a 0,1 W/m^2K:

impatti ambientali di 10 anni di vita - Milano
energia utilizzata: gasolio
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento
(della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
1.200
800
400
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Milano
energia utilizzata: metano
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento
(della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
avvertenza: la scala dei valori nel caso del metano è stata ridotta a 1/5 rispetto a quella del gasolio, data la notevole riduzione dei valori in analisi
240
160
80
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Roma
energia utilizzata: gasolio
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento
(della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
1.200
800
400
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Roma
energia utilizzata: metano
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento (della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
avvertenza: la scala dei valori nel caso del metano è stata ridotta a 1/5 rispetto a quella del gasolio, data la notevole riduzione dei valori in analisi
240
160
80
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Napoli
energia utilizzata: gasolio
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento (della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
1.200
800
400
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Napoli
energia utilizzata: metano
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento (della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
avvertenza: la scala dei valori nel caso del metano è stata ridotta a 1/5 rispetto a quella del gasolio, data la notevole riduzione dei valori in analisi
240
160
80
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Palermo
energia utilizzata: gasolio
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento
(della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
1.200
800
400
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
1,0 U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

impatti ambientali di 10 anni di vita - Palermo
energia utilizzata: metano
impatti relativi alla produzione di isolante
impatti relativi all'energia per riscaldamento
(della tipologia1-bifamiliare)
(della tipologia2-plurifamiliare in linea)
(della tipologia3-plurifamiliare alta)
300.000
240.000
180.000
120.000
60.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
GWP effetto serra g di CO2 eq / m2
3.900
2.600
1.300
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
AP acidificazione g di SO2 eq / m2
avvertenza:
la scala dei valori nel caso del metano è stata ridotta a 1/5 rispetto a quella del gasolio, data la notevole riduzione dei valori in analisi
240
160
80
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
POPC ossidanti fotochimici g di C2H4 eq / m2
20.000
10.000
0
U
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
NP eutrofizzazione g di O2 eq / m2

qui il risparmio energetico si riduce a tal punto che gli impatti ambientali relativi alla produzione diventano significativi. Tale soglia si modifica in relazione alla zona climatica e si modifica in relazione alla tipologia edilizia considerata. Inoltre risulta fondamentale la scelta del combustibile utilizzato per produrre l'energia termica: la differenza di impatti generati tra gasolio e metano è notevole.
La lettura dei grafici dunque va soppesata rispetto alle variabili espresse e non può essere ricondotta a un risultato preciso, quanto a una tendenza.

Lo studio presentato si rivolge ai progettisti ed è stato concepito come strumento di supporto alle scelte progettuali. Infatti i risultati che ne scaturiscono dovrebbero essere letti come informazione tecnica e ambientale orientativa.
L'obiettivo della valutazione non era la ricerca di un dato 'certo', ma l'individuazione di ordini di grandezza per definire orientamenti progettuali. Infatti il dato certo è difficilmente ottenibile per l'elevato numero di variabili in gioco che rendono comunque 'parziale' e 'manipolato' qualsiasi risultato. Quello che si può ottenere da valutazioni di questo tipo è solo una visione d'insieme e uno scenario complessivo di comportamento energetico e ambientale, in modo da avere informazioni di supporto e orientamento nella progettazione energeticamente e ambientalmente consapevole. Di conseguenza la semplificazione di alcune operazioni valutative è stata scelta per consentire anche a un 'non esperto' di valutazioni energetico-ambientali di poter seguire i passaggi della valutazione e dunque poter capire quali sono i fattori di rilievo e l'incidenza dei vari fattori sul risultato. Il 'contesto' dei dati è fondamentale per leggere correttamente le valutazioni, poichè il risultato di una valutazione è condizionato dalle scelte e condizioni stabilite durante la valutazione.

ANALISI COSTI-BENEFICI DELL'INCREMENTO DI ISOLANTE

3.3

La consapevolezza del potenziale di riduzione degli impatti ambientali insito nella riduzione dei consumi energetici grazie a un incremento dei livelli di isolamento termico degli edifici non necessariamente porta a mutamenti nella pratica costruttiva.
Spesso la normativa fatica a recepire gli orientamenti dettati dalla ricerca a causa di freni politici ed economici. Appare dunque opportuno evidenziare quali possono essere i vantaggi economici di alcune scelte volte al risparmio energetico, in modo che la pressione degli utenti finali sia maggiore. I costi aggiuntivi per la costruzione di edifici a basso consumo energetico si stanno progressivamente abbassando, grazie alla disponibilità di tecniche evolute prodotte ormai a catalogo. Se fino al 1992 si parlava di un incremento dei costi di costruzione del 20%, oggi si parla del 10% (Gallo, 2000).
I costi di costruzione degli edifici energeticamente efficienti vengono considerati troppo elevati, per l'elevato numero di tecnologie e impianti innovativi che dovrebbero essere adottati. Perciò è necessario che nella progettazione vengano affrontati non solo gli aspetti energetici, ma anche quelli di natura economica. Il compito non è solo quello di ottenere un'alta efficienza energetica ed un elevato comfort abitativo, ma anche di poterli realizzare a un prezzo ragionevole e competitivo.
Per questo motivo, i sistemi di certificazione energetica, quali "Minergie" e "Passivhaus", prevedono che il metro quadrato di superficie utile di un edificio ad alta efficienza energetica non debba costare più del 10% di quello di un normale edificio corrispondente alle norme sul risparmio energetico.
Il maggiore costo è normalmente recuperabile tramite i risparmi energetici ottenuti in meno di 10 anni.
Il contenimento dei costi è un obiettivo che ha validità generale, non solo per l'Europa centrale, ma anche per regioni con un clima

più mite come quello mediterraneo. Anzi, in climi miti un'alta efficienza energetica dell'edificio si raggiunge più facilmente e con minori oneri economici. Per esempio, l'isolamento termico delle chiusure opache e delle finestre, che sono gli elementi più incisivi per l'ottenimento del risparmio energetico, possono essere inferiori e quindi meno costosi; gli apporti solari sono più alti e l'acqua calda prodotta da un collettore solare è spesso già sufficiente per fornire il calore anche per il riscaldamento.
Nonostante questi potenziali vantaggi, in Italia la realizzazione di edifici ad alta efficienza energetica incontra ancora alcune difficoltà. La principale delle quali deriva dalle normative. Si può capire meglio questo aspetto illustrando un esempio fatto su un edificio residenziale. A Francoforte, dove i gradi giorno sono 3.500, la WSVO tedesca impone un fabbisogno termico massimo annuale inferiore a 72 kWh/m^{2}a, mentre per lo stesso edificio situato a Roma (1.415 gradi giorno), la legge 10/91 consente 140 kWh/m^{2}a (Wienke, 2002). Alla luce di tale esempio dob-

analisi costi-benefici dell'iperisolamento

Riprendendo le tipologie edilizie analizzate nel paragrafo precedente, viene qui affrontata l'analisi economica dei costi-benefici tra incremento dello spessore isolante impiegato e risparmio di energia durante la fase d'uso, per verificare l'incidenza in fase di costruzione del costo integrativo del materiale isolante e il periodo di ritorno economico per assorbire tale incremento di costo.
Il costo dei pannelli varia a seconda della tipologia (e in particolare della densità). Prendendo in considerazione pannelli in lana di roccia (Rockwool, 2004), i costi **per il nord Italia** sono di:
- 2,99 al m^2 per un pannello di spessore 5 cm e densità 70 kg/m^3
- 4,10 al m^2 per un pannello di spessore 5 cm e densità 100 kg/m^3

Il costo si riferisce al prezzo effettuato all'utilizzatore finale (posatore, impresa edile) per il pannello isolante. Si esclude infatti il costo di posa in opera che non cambia al variare dello spessore di isolante.
Per quanto riguarda il risparmio energetico, è stato calcolato il risparmio in kWh/m^{2}a rispetto alla soluzione non isolata (1,0 W/m^{2}K), che era stato calcolato come potenza termica dissipata dalle superfici opache per un rendimento degli impianti di 0,75. Per tradurre il consumo energetico in consumo di combustibile si è ipotizzato un potere calorifico inferiore (PCI) di 9,4 kWh/m^3 per il gas metano. Il costo del combustibile è stato ipotizzato di 0,42 € al m^3 (Enel, 2004).
Dal confronto della valutazione dell'incremento dei costi dovuto ai diversi livelli di isolamento termico con la valutazione del risparmio di combustibile conseguito grazie al maggiore isolamento è stato possibile desumere il tempo di ritorno economico dell'incremento di costo in fase di costruzione per l'impiego di materiale isolante.

tipologia 1 - Milano
edificio bifamiliare

area chiusure verticali opache: 426 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,40 W/m^2K) energ effic	1.530 €
spes isolante 10 cm	trasm (0,30 W/m^2K) low energy	2.550 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,20 W/m^2K) iperisolato	4.070 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,15 W/m^2K) passivhaus	13.160 €

area copertura: 144 m^2

spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) energ effic	940 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) low energy	1.420 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,15 W/m^2K) iperisolato	2.600 €
spes isolante 36 cm	trasm (0,10 W/m^2K) passivhaus	4.250 €

area solaio contro terra: 144 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,45 W/m^2K) energ effic	700 €
spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) low energy	950 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) iperisolato	1.420 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,20 W/m^2K) passivhaus	1.890 €

I costi complessivi (e ripartiti per metro quadrato di superficie utile - 432 m^2) di isolamento termico delle diverse soluzioni di involucro sono:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	3.170 €	7,30 €/m^2
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	4.920 €	11,40 €/m^2
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	8.090 €	18,70 €/m^2
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	19.300 €	44,70 €/m^2

Il risparmio di energia (ed economico) ottenuto grazie ai diversi livelli di isolamento termico (ipotizzando la localizzazione a Milano e un consumo di gas metano) è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	79,5 kWh/m^2a	3,46 €/m^2a
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	90,9 kWh/m^2a	4,06 €/m^2a
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	102,4 kWh/m^2a	4,57 €/m^2a
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	108,1 kWh/m^2a	4,83 €/m^2a

Il tempo di ritorno economico è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	2,1 anno
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	2,8 anni
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	4,1 anni
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	9,2 anni

tipologia 2 - Milano
edificio plurifamiliare in linea

area chiusure verticali opache: 840 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	3.010 €
spes isolante 10 cm	trasm (0,3 W/m^2K) low energy	5.020 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	8.040 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	11.050 €

area copertura: 720 m^2

spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) energ effic	4.720 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) low energy	7.080 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,15 W/m^2K) iperisolato	12.990 €
spes isolante 36 cm	trasm (0,10 W/m^2K) passivhaus	21.250 €

area solaio contro terra: 720 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,45 W/m^2K) energ effic	3.540 €
spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) low energy	4.720 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) iperisolato	7.080 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,20 W/m^2K) passivhaus	9.450 €

I costi complessivi (e ripartiti per metro quadrato di superficie utile - 1.080 m^2) di isolamento termico delle diverse soluzioni di involucro sono:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	11.270 €	10,40 €/m^2
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	16.820 €	15,60 €/m^2
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	28.110 €	26,00 €/m^2
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	41.750 €	38,70 €/m^2

Il risparmio di energia (ed economico) ottenuto grazie ai diversi livelli di isolamento termico (ipotizzando la localizzazione a Milano e un consumo di gas metano) è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	64,1 kWh/m^2a	2,86 €/m^2a
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	73,0 kWh/m^2a	3,26 €/m^2a
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	81,8 kWh/m^2a	3,65 €/m^2a
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	86,3 kWh/m^2a	3,85 €/m^2a

Il tempo di ritorno economico è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	3,6 anno
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	4,8 anni
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	7,1 anni
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	10,1 anni

tipologia 3 - Milano
edificio plurifamiliare alto

area chiusure verticali opache: 1.680 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	6.030 €
spes isolante 10 cm	trasm (0,3 W/m^2K) low energy	10.050 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	16.070 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	22.100 €

area copertura: 720 m^2

spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) energ effic	4.720 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) low energy	7.080 €
spes isolante 22 cm	trasm (0,15 W/m^2K) iperisolato	12.990 €
spes isolante 36 cm	trasm (0,10 W/m^2K) passivhaus	21.250 €

area solaio contro terra: 720 m^2

spes isolante 6 cm	trasm (0,45 W/m^2K) energ effic	3.540 €
spes isolante 8 cm	trasm (0,35 W/m^2K) low energy	4.720 €
spes isolante 12 cm	trasm (0,25 W/m^2K) iperisolato	7.080 €
spes isolante 16 cm	trasm (0,20 W/m^2K) passivhaus	9.450 €

I costi complessivi (e ripartiti per metro quadrato di superficie utile - 2.160 m^2) di isolamento termico delle diverse soluzioni di involucro sono:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	14.290 €	6,60 €/m^2
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	21.850 €	10,10 €/m^2
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	36.140 €	16,70 €/m^2
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	52.800 €	24,40 €/m^2

Il risparmio di energia (ed economico) ottenuto grazie ai diversi livelli di isolamento termico (ipotizzando la localizzazione a Milano e un consumo di gas metano) è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	47,1 kWh/m^2a	2,10 €/m^2a
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	54,1 kWh/m^2a	2,42 €/m^2a
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	61,0 kWh/m^2a	2,72 €/m^2a
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	64,5 kWh/m^2a	2,88 €/m^2a

Il tempo di ritorno economico è di:

trasm (0,4 W/m^2K) energ effic	3,1 anno
trasm (0,3 W/m^2K) low energy	4,1 anni
trasm (0,2 W/m^2K) iperisolato	6,1 anni
trasm (0,1 W/m^2K) passivhaus	8,5 anni

biamo chiederci perché un costruttore italiano dovrebbe impegnarsi a ridurre il fabbisogno della metà visto che sarà poi il proprietario a pagare la bolletta energetica.
Un'altra difficoltà è da individuare nell'aspetto economico e riguarda i costi di costruzione. In Italia ancora oggi si costruisce una palazzina residenziale popolare, conforme alla legge 10/91, al costo di 650-750 euro al metro quadrato abitabile. In Germania, invece, il costo di un simile fabbricato, conforme alla WSVO, è di circa 1.100-1.450 euro (esclusa la progettazione ed altre spese accessorie) (Wienke, 2002). Questa differenza è attribuibile non solo ai differenti costi della manodopera e dei materiali, ma soprattutto alla differenza dello standard energetico che il clima (e la WSVO) esige.
Secondo le esperienze fatte in Germania, un edificio a basso consumo energetico o una passivhaus hanno un costo che supera quello di un edificio conforme alla WSVO nella misura di circa il 10%. Il salto da uno standard all'altro è quindi sopportabile.
Anche in Italia sarebbe possibile costruire un edificio ad alta prestazione energetica a un costo ragionevole e sopportabile.
Tra tutti gli interventi attuabili per diminuire i consumi energetici degli edifici il più economico e il più semplice è l'aumento dello spessore isolante.
Va sottolineato che il maggiore costo determinato dall'incremento dello spessore isolante non è tanto attribuibile al costo del materiale isolante quanto allo spazio che l'ingombro del materiale isolante erode alla superficie utile vendibile e che computa nella volumetria costruita oggetto degli oneri di urbanizzazione. Per questo appaiono particolarmente importanti gli incentivi e gli sgravi che gli enti pubblici hanno stabilito a favore dell'iperisolamento (cfr. § 1.4).
Infatti se si realizza una valutazione costi-benefici ponendo in relazione i maggiori costi dovuti all'incremento di isolante con i risparmi di combustibile grazie alla minor energia impiegata negli edifici ben isolati, si riscontra che i tempi di ritorno economico dell'investimento iniziale sono collocati nell'arco dei 10 anni. Rispetto dunque al ciclo di vita di un edificio risulta più che vantaggioso dal punto di vista economico attuare interventi di isolamento termico che consentano di risparmiare energia. L'incidenza sui costi di costruzione si differenzia a seconda della tipologia edilizia e del grado di isolamento, ma si aggira comunque attorno al 5%. Si tratta dunque di un tipo di intervento particolarmente economico ma che consente elevati risparmi in fase d'uso, che entrano in opportuna sinergia con i vantaggi ambientali per le minori emissioni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

BADINO VANNI, BALDO GIAN LUCA, *LCA: istruzioni per l'uso*, Esculapio, Bologna, 1998.

BAGLIONI ADRIANA, *Qualità abitativa e compatibilità ambientale*, in *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, vol. 3 *Progetto tecnico e qualità*, Hoepli, Milano, 1994, pp. 225-256.

BANHAM REYNER, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, 1969 (tr. it. di Giovanni Morabito, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Roma-Bari, 1995).

BASSI ANDREA, *Prezzi informativi delle costruzioni*, Maggioli, Rimini,

BIANCHI DUCCIO, a cura di, *Ambiente Italia 2003. 100 indicatori sullo stato del paese il mondo tra clima che cambia e povertà*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003.

BRUNDTLAND GRO HARLEM, a cura di, *Our Common Future*, World Commission on Environment and Development, Ginevra, 1987 (tr. it. di Francesco Saba Sardi, *Il futuro di noi tutti. Rapporto della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo*, Bompiani, Milano, 1988).

BUTERA FEDERICO, *Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etaslibri, Milano, 1995.

CANGELLI ELIANA, PAOLELLA ADRIANO, *Il progetto ambientale degli edifici. LCA, EMAS, Ecolabel, gli standard ISO applicati al processo edilizio*, Alinea, Firenze, 2001.

CHAMBERS N., SIMMONS C., WACKERNAGEL M., *Manuale delle impronte ecologiche. Principi, applicazioni, esempi,* Edizioni Ambiente, Milano, 2002.

CHIAPPONI MEDARDO, MANZINI EZIO, COSTA FIAMMETTA, MANGIAROTTI RAFFAELLA, PRATESI COSTANZA, *Life Cycle Assessment. Valutare e incrementare la qualità ambientale dei prodotti e dei servizi*, Quaderni Associazione Impresa Politecnico, Milano, 1996.

CHIAPPONI MEDARDO, *Progettazione ambientale e disegno industriale*, in Virginia Gangemi, a cura di, *Emergenza ambiente. Teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, Clean Napoli, 2001, pp. 27-35.

CHIESA GIANCARLO, DALL'O' GIULIANO, *Risparmio energetico in edilizia. Criteri e norme*, Masson, Milano, 1996.

Comandini Stefano, Dal Fiume Andrea, Ratti Andrea, *Architettura sostenibile*, Pitagora Editrice, Bologna, 1998.

Daniels Klaus, *Low-tech Light-tech High-tech. Building in the Information Age*, Birkhäuser, Basilea, 1998.

De Capua Alberto, *Strategia progettuale integrata per la qualità ambientale tecnologica: controllo ambientale*, in Adriano Paolella, a cura di, *L'edificio ecologico: Obiettivi, riconoscibilità, Caratteri, Tecnologie,* Gangemi, Roma, 2001, pp. 65-78.

De Maio Diana, *Verso un quadro normativo per il design eco-orientato*, in Virginia Gangemi, a cura di, *Emergenza ambiente. Teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, Clean Napoli, 2001, pp. 216-223.

Diappi Lidia, a cura di, *Sostenibilità urbana. Dai principi ai metodi di analisi. Forma urbana, energia e ambiente,* Paravia, Torino, 2000.

ECOFYS, a cura di, *Mitigation of CO2. Emission from the building stock,* Germany, 2003.

ENEA, a cura di, *Edifici bioclimatici in Italia. 151 edifici solari passivi*, Roma, 1992.

European Environment Agency, *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe*, Copenhagen, 2002. (http://reports.eea.eu.int)

European Environment Agency, *Signals 2004*, Copenhagen, 2004. (http://reports.eea.eu.int)

Faconti Daniela, Piardi Silvia, a cura di, *La qualità ambientale degli edifici*, Maggioli, Rimini, 1998.

Fregolent Laura, Indovina Francesco, a cura di, *Un futuro amico. Sostenibilità ed equità*, FrancoAngeli, Milano, 2002.

Gallo C., *La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole24ore, Milano, 2000.

Gauzin-Müller Dominique, *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001 (tr. it. a cura di Marco Moro, *Architettura sostenibile. 29 esempi di edifici e insediamenti ad alta qualità ambientale*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003).

Gottfried Arie, a cura di, *Le chiusure verticali. Quaderni del Manuale di progettazione edilizia*, Hoepli, Milano, 2002.

Lanzavecchia Carla, *Il fare ecologico. Il prodotto industriale e i suoi requisiti ambientali*, Paravia, Torino, 2000.

Lovins L. Hunter, Lovins Amory B., von Weizsacher Ernst Ulrich, *Fattore 4. Come ridurre l'impatto ambientale moltiplicando per quattro l'efficienza della produzione*, Edizione Ambiente, Milano, 1998.

Mangiarotti Raffaella, *Il DfE in impresa. Design for Environment: il progetto di prodotti ecocompatibili*, Maggioli, Rimini, 2000.

Malanga Raffaele, *L'Environmental Management*, in Virginia Gangemi, a cura di, *Emergenza ambiente. Teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, Clean Napoli, 2001, pp. 114-128.

Manzini Ezio, *Quando la manutenzione diventa trasformazione: il caso della riqualificazione energetica*, in Claudio Molinari, a cura di, *Manutenzione in edilizia. Nozioni, problemi, prospettive*, FrancoAngeli, Milano, 1989.

Manzini Ezio, Vezzoli Carlo, *Lo sviluppo di prodotti sostenibili. I requisiti ambientali dei prodotti industriali*, Maggioli, Rimini, 1998.

Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, *Oltre i limiti dello sviluppo*, Il saggiatore, Milano, 1993.

Monti Carlo, Roda Riccardo, Torricelli Maria Chiara, Lucchini Angelo, a cura di, *Costruire sostenibile*, Alinea, Firenze, 2002.

Moreno Ramòn Queraltò, *Il nuovo rapporto tra il naturale e l'artificiale*, in *Razionalità tecnica e mondo futuro. Una eredità per il terzo millennio,* FrancoAngeli, Milano, 2002, pp. 145-151.

Nebbia Giorgio, *Lo sviluppo sostenibile*, Edizioni Cultura della Pace, S. Domenico di Fiesole, 1991.

Novi Fausto, a cura di, *La riqualificazione sostenibile. Applicazioni, sistemi e strategie di controllo climatico naturale*, Alinea, Firenze, 1999.

Paolella Adriano, a cura di, *L'edificio ecologico: Obiettivi, riconoscibilità, Caratteri, Tecnologie,* Gangemi, Roma, 2001.

Paolella Adriano, *Tecnologia delle costruzioni e cambiamenti climatici,* in Adriano Paolella, Rita Minucci, a cura di, *Cambiamenti climatici ed edilizia,* Edicomprint, Roma, 2003.

Passaro Antonio, *Costruire e dismettere. Nuove strategie per il riciclaggio in edilizia,* Arte Tipografica, Napoli, 1996.

Passaro Antonio, *La problematica del riciclaggio di materiali e componenti edilizi*, in Virginia Gangemi, a cura di, *Emergenza ambiente. Teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, Clean Napoli, 2001, pp. 209-215.

Pearce David W., Turner R. Kerry, *Economics of Natural Resources and the Environment,* Hemel Hempstead, Harvester and Wheatsheaf, 1989 (tr. it. di Maristella Botticini, *Economia delle risorse naturali e dell'ambiente*, il Mulino, 1991).

Piardi Silvia, *Inquinamento degli ambienti interni*, in *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, vol. 3 *Progetto tecnico e qualità*, Hoepli, Milano, 1994, pp. 173-194.

Raffaellini Giorgio, *Architettura ed energia*, *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, vol. 2. Criteri ambientali e impianti, Hoepli, Milano, 1994, p. 3.

Raimondi Attilio, *Fonti di energia e usi finali*, *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, vol. 2. Criteri ambientali e impianti, Hoepli, Milano, 1994a, pp. 6-21.

Raimondi Attilio, *Risparmio e recupero dell'energia nel settore edilizio*, *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, vol. 2. Criteri ambientali e impianti, Hoepli, Milano, 1994b, pp. 22-39.

Schmidt Andera C., Clausen Anders U., Kamstrup Ole, Jensen Allan A., *Comparative Life Cycle Assessment of Three Insulation Materials; Stone Wool, Flax and Paper Wool*, Eco-Informa, Austria, 2003.

Scudo Gianni, Piardi Silvia, *Edilizia sostenibile. 44 progetti dimostrativi*, Esselibri, Napoli, 2002.

Serra Florensa Rafael, Coch Roura Melena, *Arquitectura y energia natural*, Edicions UPC, Catalunya, 1995 (tr. it. di Gianni Scudo e Alessandro Rogora, *L'energia nel progetto di architettura*, CittàStudiEdizioni, Milano, 1997).

Smith Peter F., *Architecture in a Climate Change. A guide to sustainable design*, Architectural Press, Oxford, 2001.

TIEZZI ENZO, MARCHETTINI NADIA, *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*, Donzelli, Roma, 1999.

WACKERNAGEL MATHIS, REES WILLIAM, *Our Ecological Footprinting. Reducing Human Impact on the Earth*, 1996 (tr. it. di Anna Bruno Ventre *et alii*, L*'impronta ecologica. Come ridurre l'impatto dell'uomo sulla terra*, Edizioni Ambiente, Milano, 1996).

WIENKE UWE, *L'edificio passivo. Standard Requisiti Esempi*, Alinea, Firenze, 2002.